

Волинський національний університет  
імені Лесі Українки

# **ПРОБЛЕМИ ХІМІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ**

Випуск 2



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2022

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

**Гулай Любомир Дмитрович** – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища Волинського національного університету імені Лесі Українки (головний редактор);

**Анічкіна Олена Василівна** – кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка;

**Бедункова Ольга Олександрівна** – доктор біологічних наук (03.00.16 – Екологія), доцент, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства Національного університету водного господарства та природокористування;

**Демянчук Михайло Ростиславович** – доктор педагогічних наук, професор кафедри медико-профілактичних дисциплін та лабораторної діагностики Комунального закладу вищої освіти «Рівненська медична академія» Рівненської обласної ради;

**Казаква Наталія Вікторівна** – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри педагогіки Хмельницької гуманітарно-педагогічної академії;

**Калаур Світлана Миколаївна** – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри соціальної роботи та менеджменту соціокультурної діяльності, керівник Центру післядипломної освіти Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка;

**Клименко Олександр Миколайович** – доктор сільськогосподарських наук (03.00.16 – Екологія), професор, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства Національного університету водного господарства та природокористування;

**Когут Юрій Миколайович** – кандидат хімічних наук, старший лаборант кафедри хімії та технологій Волинського національного університету імені Лесі Українки;

**Лукащук Микола Миколайович** – кандидат педагогічних наук, викладач з предметів хімія і біологія Комунального закладу вищої освіти «Рівненська медична академія» Рівненської обласної ради;

**Марушко Лариса Петрівна** – кандидат хімічних наук, доцент, декан факультету хімії, екології та фармацевції Волинського національного університету імені Лесі Українки;

**Марчук Олег Васильович** – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри хімії та технологій Волинського національного університету імені Лесі Українки;

**Олексеюк Іван Дмитрович** – доктор хімічних наук, професор, професор кафедри хімії та технологій Волинського національного університету імені Лесі Українки;

**Піскач Людмила Василівна** – кандидат хімічних наук, професор, професор кафедри хімії та технологій Волинського національного університету імені Лесі Українки;

**Романишина Оксана Ярославівна** – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри інформатики та методики навчання Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка;

**Романюк Ярослав Євгенійович** – PhD, керівник наукової групи Швейцарської федеральної лабораторії матеріалознавства і технологій (ЕМРА) (Швейцарія);

**Салісва Леся Миколаївна** – кандидат хімічних наук, старший викладач кафедри органічної хімії та фармацевції Волинського національного університету імені Лесі Українки;

**Сливка Наталія Юрївна** – кандидат хімічних наук, доцент, завідувач кафедри органічної хімії та фармацевції Волинського національного університету імені Лесі Українки;

**Смітюх Олександр Вікторович** – кандидат хімічних наук, старший лаборант кафедри хімії та технологій Волинського національного університету імені Лесі Українки;

**Сонько Сергій Петрович** – доктор географічних наук (08.00.06 – Економіка природо-користування та охорони навколишнього середовища), професор, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності Уманського національного університету садівництва.

**Стучинська Наталія Василівна** – доктор педагогічних наук, кандидат фізико-математичних наук, професор, професор кафедри медичної і біологічної фізики та інформатики Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця.

**Тюріна Валентина Олександрівна** – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри соціології та психології Харківського національного університету внутрішніх справ;

Журнал ухвалено до друку Вченою радою  
Волинського національного університету імені Лесі Українки  
**29 вересня 2022 р., протокол № 12**

Науковий журнал «Проблеми хімії та сталого розвитку» зареєстровано Міністерством юстиції України  
(Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації  
серія КВ № 24806–14746Р від 27.04.2021 року)

«Проблеми хімії та сталого розвитку» включено до Переліку наукових фахових видань України категорії Б  
у галузі природничих наук (спеціальності 101 – Екологія, 102 – Хімія) відповідно до Наказу МОН України  
від 29.06.2021 No 735 (додаток 4).

Офіційний сайт видання: [www.journals.vnu.volyn.ua/index.php/chemistry](http://www.journals.vnu.volyn.ua/index.php/chemistry)

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com  
від польської компанії Plagiat.pl.

ISSN 2786-4669 (Print)  
ISSN 2786-4677 (Online)

© Волинський національний університет імені Лесі Українки, 2022

УДК 574.4:349.6

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-1>

**Ольга БЄДУНКОВА**

доктор біологічних наук, доцент, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства, Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028

**ORCID:** 0000-0003-4356-4124

**Scopus-Author ID:** 57193439260

**Влад КЛИМЕНКО**

здобувач третього рівня вищої освіти, Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028

**Бібліографічний опис статті:** Бєдункова, О., Клименко, В. (2022) Методологія оцінювання придатності екосистем порушених незаконним видобутком бурштину для їх рекультивациі. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 3–10, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-1>

**МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ПРИДАТНОСТІ ЕКОСИСТЕМ ПОРУШЕНИХ НЕЗАКОННИМ ВИДОБУТКОМ БУРШТИНУ ДЛЯ ЇХ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ**

**Мета роботи.** Статтю присвячено розгляду та теоретичному аналізу питання незаконного видобутку бурштину, який несе загрозу соціо-економічному розвитку як на локальному, так і регіональному рівнях нашої держави. **Наукова новизна.** Аналіз проблеми доводить доцільність розмежування антропогенних факторів впливу на стан екологічної безпеки екосистем (аграрних, лісових, водно-болотних) порушених незаконним видобутком бурштину здійснювати за ступенем їх порушення, а саме: слабо порушені до 10%; частково порушені від 10 до 30%; дуже порушені від 30 до 70%; сильно порушені від 70 до 100% у відсотках до площі 1 га. **Методологія.** Площі ділянок, порушених незаконним видобутком бурштину (гідромеханізованим способом або розкопами), рекомендується визначати експериментальними методами, а саме: розрахунковим, за знімками Sentinel-2, ортофотопланом. Рекультивацию порушених екосистем незаконним видобутком бурштину рекомендується здійснювати за сільськогосподарським, лісгосподарським напрямками у три етапи. На підготовчому етапі проводять комплексну оцінку соціо-економічних, гідрогеологічних, гідрологічних, ґрунтових, ботанічних умов порушених територій, вивчають склад ґрунтів, материнських і підстиляючих порід, визначають ступінь пошкодження паїв, городів, кварталів, відділів, пасовищ, луків та обирають напрями їх рекультивациі. На другому гірничо-технічному етапі на слабо і частково порушених аграрних і лісових екосистемах проводять засипку воронок, розкопів; на дуже і сильно порушених – проводять часткове або суцільне вирівнювання поверхні. На третьому біологічному етапі на порушених аграрних екосистемах вносять органічні і мінеральні добрива, вапно (за потреби), активні мікроорганізми і висівають сидерати, на порушених лісових екосистемах – сприяють природному поновленню найстійкіших деревних видів або проводять посадку дерев сосни звичайної, берези повислої. Водогосподарський напрям рекультивациі передбачає використання кар'єрних виїмок, котлованів, понижень, блюдець, боліт для створення водних об'єктів, а саме: для рибництва шляхом будівництва ставків з водним дзеркалом більше 1 га і глибиною понад 2 м, для відновлення водно-болотних угідь або боліт шляхом підтримання тимчасового, періодичного або постійного їх затоплення глибиною менше 2 м. **Висновок.** Узагальнено послідовність основних технологічних етапів рекультивациі земель, порушених внаслідок незаконного видобутку бурштину.

**Ключові слова:** порушені екосистеми, рекультивация, етапи, добрива, оранка, сидерати, ставки, водойми.

**Olga BIEDUNKOVA**

Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Ecology, Environmental Protection and Forestry Technologies, National University of Water and Environmental Engineering, Soborna str., 11, Rivne, Ukraine, 33028

**ORCID:** 0000-0003-4356-4124

**Scopus-Author ID:** 57193439260

**Vladislav KLYMENKO**

Applicant for the third level of higher education, National University of Water and Environmental Engineering, Soborna str., 11, Rivne, Ukraine, 33028

**To cite this article:** Biedunkova, O., Klymenko, L. (2022). Metodolohiia otsiniuvannia prydatnosti ekosystem porushenykh nezakonnym vydobutkom burshtynu dlia yikh rekulytvatsii [Methodology of evaluation of ecosystems damaged by illegal amber mining in order to be recultivated]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 3–10, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-1>

## METHODOLOGY OF EVALUATION OF ECOSYSTEMS DAMAGED BY ILLEGAL AMBER MINING IN ORDER TO BE RECULTIVATED

**Purpose of the work.** In the article the stress is laid on the illegally mined amber that causes threats to socio-economic-ecological development both on local and regional levels of our country. **Scientific novelty.** It is suggested to accomplish the marks of limits of ecological ecosystems safety (agrarian, forest, waterswampy) damaged by illegal amber mining according to the stage of their violation, just: feebly damaged to 10 percent; partly damaged from 10 to 30 percent; highly damaged from 30 to 70 percent; badly damaged from 70 to 100 percent referring to the area of 1 hectare. **Methodology.** The areas of plots damaged by illegal amber mining (either by hydromechanized or digging ways) are recommended to define by experimental methods, just, by calculating, using prints Sentinel-2, orthophotoplanes. It is recommended to carry out the recultivation of damaged by illegal amber mining ecosystems following the agricultural and forestry direction in three stages. At the preparatory stage complex evaluation of socio-economic, hydrogeological, hydrological, soil and botanic conditions of damaged territories is done, the structure of soils, maternal and used for bedding rocks is studied, the level of damaged shares, vegetable gardens, quarters, pastures, meadows is specified and the direction of their recultivation is chosen. At the second mining – technical stage filling up of craters, pits is carried out on feebly and partly damaged agrarian and forest ecosystems. At the third biological stage organic and mineral fertilizers, lime (in need) active microorganisms are applied on damaged agrarian ecosystems and syderates are sowed out. On the damaged forest ecosystems natural renewal of the most stable arborous species are facilitated or pine and birch trees are planted. Watereconomic direction of recultivation envisages the use of open works pits, ditches, lower reaches, swamps for water objects, exactly, for fish industry to build ponds with water surface more than one hectare and the depth more than 2 meters, for renewal of waterswampy objects in the areas of economic significance or swamps to sustain their temporary, recurrent or regular flooding with the depth less than two metres. **Conclusion.** The sequence of the main technological stages of reclamation of lands disturbed as a result of illegal amber mining is generalized.

**Key words:** disturbed ecosystems, reclamation, stages, fertilizers, ploughing, green manures, ponds, reservoirs.

**Актуальність проблеми.** Згідно статті 14 Конституції України «земля» (грунтовий покрив) є основним національним багатством, що перебуває під особливою охороною держави.

На даний час, в Україні площа сільськогосподарських угідь у розрахунку на душу населення становить близько 0,85 га, ріллі – близько 0,66 га, за умов коли сільськогосподарські угіддя у державі займають площу 41862 тис. га, що становить 72,3% загальної території суші, а під ріллею перебуває понад 57% загальної площі, або 79,5 сільськогосподарських угідь (Сонько С.П., Максименко Н.В., 2015).

Висока розорюваність ґрунтів в Україні сприяє її деградації внаслідок проявів водної ерозії на площі понад 10 млн. га, вітрової ерозії на площі понад 5 млн. га, та наявності ґрунтів, що мають підвищену кислотність – 10 млн. га та перебувають у стані перезволоження – 4 млн. га. Одночасно в Україні загальна площа порушених земель, при видобуванні корисних копалин, досягла величин понад 265 тис. га, при темпах її приросту 7-8 тис. га щороку.

Посилення деградаційних процесів у зоні Полісся України на землях, які належать сіль-

ському або лісовому господарству та подекуди водному фонду, відбувається внаслідок незаконного видобутку бурштину.

Відтак уже в даний час перед українською державою стоїть першочергове завдання віднайти шляхи подолання кризових явищ у використанні орних земель, територій порушених незаконним видобутком бурштину для відновлення цих деградованих земель за рахунок рекультивативної до стану, придатного для їх використання у сільському, лісовому господарствах, або риборицтві, в інших цілях.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз наукових праць засвідчує, що процеси деградації ґрунтового покриву обумовлюються дією антропогенних і природних факторів, які суттєво зменшують його родючість (Сонько С.П., Максименко Н.В., 2015; Клименко М.О., Борисюк Б.В., Колесник Т.М., 2014; Медведєв В.В., Лактіонова Т.М., 1998; Розанов Б.Г., Розанов А.Б., 1990).

Оцінку проявів та наявності процесів деградації ґрунтового покриву рекомендується здійснювати за наступними ознаками: морфологічними (змiнами в будові і структурі ґрунтового

проділю); функціональними (змінами їх складу, режимів, процесів, властивостей).

На територіях Волинської, Рівненської, Житомирської областей, які зазнали найбільших еколого-економічних збитків від незаконного видобутку бурштину, в їх деградованих ґрунтах сільськогосподарських, водно-болотних угідь та землях лісового господарства проявляються як морфологічні, так і функціональні зміни і ознаки процесів їх деградації.

У публікаціях зазначається, що внаслідок незаконного видобутку бурштину, який здійснюється гідромеханічним способом (мотопомпою), порушується вікова структура деревостану, втрачаються середньо стиглі насадження, спостерігається знищення гумусноелювіального шару ґрунтів дерново-підзолистих і підзолистого типів, на їх поверхню вимиваються материнські і підстилаючі породи, спостерігається зміна рівнів ґрунтових вод, заболочення окремих ділянок і поява вологолюбивих рослин (Ковалевський С.Б., Ковалевський С.С., Долід О.Л., 2019).

Територія після глибокого незаконного видобутку бурштину набуває вигляду місячного рельєфу або пустелі. Виникає потреба в рекультивації цих територій, площа яких в Рівненській області сягає понад 1042 га, а вибір напрямків їх відновлення визначається відповідно вимог ГОСТ 17.5.1.02-85. Одночасно на підготовчому етапі рекультивації бажано здійснити не лише обстеження проділів ґрунтових відмін, вивчення властивостей розкривних порід та ґрунтів, визначення напрямів і методів рекультивації, складання ТЕО і робочих проектів рекультивації, але і отримати додаткову інформацію, а саме: ідентифікації факторів впливу на стан екосистем порушених незаконним видобутком бурштину за ступенем їх впливу (силою, інтенсивністю, тривалістю, ступенем нанесеної шкоди), на відповідність критеріїв та нормативних показників придатності цих екосистем для різних видів їх рекультивації.

Ця додаткова інформація забезпечить проєктантів від помилок при виборі напрямів рекультивації екосистем (агроекосистем, лісових екосистем, екосистем водно-болотних угідь) порушених незаконним видобутком бурштину.

В заключення слід зазначити, що серед науковців на даний час немає єдності у підходах і пропозиціях щодо як оцінки факторів впливу

на стан екосистем порушених незаконним видобутком бурштину, так і загальноновизнаних критеріїв та нормативних показників встановлення придатності цих екосистем конкретним напрямам їх рекультивації (Герасимчук З.В., Олексюк А.О., 2007; Хотунцев Ю.Л., 2002).

**Мета роботи** полягала в розробці методології оцінювання придатності екосистем порушених незаконним видобутком бурштину, конкретним напрямам їх рекультивації. Досягнення мети передбачало вивчення наступних завдань: здійснити аналіз факторів впливу на стан екосистем порушених незаконним видобутком бурштину; розробити схему ієрархії станів цих екосистем; обґрунтувати критерії та нормативні показники для встановлення придатності цих екосистем конкретним напрямам їх рекультивації.

**Об'єкти дослідження.** Процеси трансформації лісових, аграрних, водно-болотних екосистем під впливом незаконного видобутку бурштину. **Предмет дослідження.** Фактори, критерії та показники, які характеризують стан екосистем порушених незаконним видобутком бурштину. **Методи і методики досліджень.** При проведенні досліджень використовувались методи системного аналізу, порівнянь, аналогій, синтезу та узагальнень.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Значні масштаби незаконного видобутку бурштину старателями виявлені в Ратнівському і Любешівському районах Волинської області, Рокитнівському, Дубровицькому, Володимирецькому, Зарічненському, Сарненському районах Рівненської області, Олевському, Овручському районах Житомирської області.

Бурштинова лихоманка, яка охопила площу понад 146 тис. км<sup>2</sup>, наносить впродовж останніх років шкоду соціо-економіко-екологічному розвитку цих областей (таб. 1).

Як видно з таблиці 1, незаконний видобуток бурштину породжує гострі проблеми, що виникають у соціальній, економічній та екологічній сферах на рівні громад, районів і регіонів, та негативно впливає на стан їхньої екологічної безпеки.

Зазначимо, що стан екологічної безпеки територій (пошкоджених) порушених незаконним видобутком бурштину зумовлюється, в основному, антропогенним фактором (розмивання водою під великим тиском шарів ґрунту на гли-

**Загрози соціо-економіко-екологічним складовим безпеки регіону Полісся  
від незаконного видобутку бурштину**

<b>Сфери життєдіяльності</b>	<b>Головні проблеми</b>
соціальна	підвищення рівня криміногенного стану в громадах і регіоні, залучення дітей до злочинної діяльності, створення злочинних груп для незаконного видобутку і обороту бурштину, високий рівень травматизму, захворюваності та смертності серед старателів через нехтування правилами безпеки, зростання соціальної напруги через конфлікти між старателями і громадянами, старателями і злочинними угрупованнями, місцевими і регіональними органами влади, поява актів протистоянь старателів з представниками влади з застосуванням зброї
економічна	збитки сільському, лісовому, водному господарствам, втрата родючості ґрунтів, втрата для держави значних запасів бурштину, недотримання митних зборів, загальнодержавних та місцевих податків і зборів, зумовлює зростання «тіньового» сектору економіки та появу контрабанди бурштином
екологічна	порушення цілісності геологічних пластів, збіднення на запаси бурштинокосних товщ, порушення гідрогеологічних умов на прилеглих територіях, знищення генетичних горизонтів ґрунтів, сприяння проявам водної та вітрової ерозії, аридизація, або заболочування ділянок суші, вирубування дерев, порушенням кореневих систем і висиханням деревних насаджень, знищення підліску, трав'яного покриву, що у подальшому зумовлюють збіднення фауни та ураження рослин патогенами

бину до 15 м, або розкопування шурфів на глибину до 8 м).

Встановлено, що незаконний видобуток бурштину, який здійснюється гідромеханічним способом або розкопами на різну глибину, обумовлює насамперед порушення станів агро-екосистем, лісових екосистем і систем водно-болотних угідь. У процесі видобутку бурштину ці екосистеми зазнають різного ступеня ушкодження – від незначного до майже суцільного. Виникає потреба ідентифікації цього фактору впливу на стан екосистем за ступенем його впливу (силою, інтенсивністю, тривалістю, ступенем завданої шкоди), що посприяє побудові певної їх ієрархії.

Зазначимо, що у процесі використання та природокористування екосистеми можуть перебувати у наступних станах: природній (слабкий вплив антропогенезу); рівноважний (відновлювальні процеси, рівні темпам пошкодження); кризовий (антропогенні порушення перевищують темпи відновлення); критичний (екосистеми трансформуються у менш продуктивні) (Сонько С.П., Максименко Н.В., 2015).

Відомі також інші підходи до розмежування станів довкілля, найпоширенішими серед інших є природно-екологічна класифікація, основу якої складають показники стійкості екосистем (стан природний, рівноважний, кризовий, критичний, катастрофічний, колапсу), шкала рівня якості екологічного стану територій (зона екологічної норми, ризику, кризи, лиха) (Хотун-

цев Ю.Л., 2002; Акімова Т.А., Хачкин В.В., 2001; Данилишин Б.М., 2001; Тихомиров Н.П., Потравний І.М., Тихомирова Т.М., 2003).

Ми, враховуючи потребу у проведенні рекультивативних порушених незаконним видобутком бурштину екосистем, пропонуємо власну шкалу градації факторів впливу на їх стан за ознакою ступеня їх порушення (пошкодження, або відхилення від попереднього стану), а саме: слабо порушені, частково порушені, дуже порушені, сильно порушені (таб. 2).

Пропонуючи наведену ієрархію екодеструктивних антропогенних факторів, ми передбачили, що є не лише полярні стани екосистем «непорушені» та «сильно порушені», але існують ще й проміжні їх стани. Так, якщо дія екодеструктивного фактора проявляється в тому, що параметри екосистеми ще перебувають в допустимих межах (при наявності незначних відхилень), то можна стверджувати, що є лише ймовірність порушення її екологічної рівноваги, а стан цієї екосистеми оцінити ступенем як «слабо порушені». За умов якщо порушення екосистеми незаконним видобутком бурштину вже відбулося на площі до 30%, то можна стверджувати про реальну дію екодеструктивного фактора, що може бути підставою виділення стану за ступенем як «частково порушені». При цьому слід зазначити, що слабо порушені і частково порушені екосистеми незаконним видобутком бурштину потребують проведення рекультивативних або відновлювальних робіт

**Розмежування антропогенних факторів впливу на стан екобезпеки екосистем порушених незаконним видобутком бурштину**

Ступінь впливу/ Критерії	Слабо порушені до 10%	Частково порушені від 10 до 30%	Дуже порушені від 30 до 70%	Сильно порушені від 70 до 100%
Дія еко-деструктивних факторів	Дуже незначна	Потенційно зростаюча	Реальна, значна	Реальна, дуже значна, руйнівна
Рівень порушення екологічної рівноваги	Існує ймовірність порушення	Частково порушена	Дуже порушена	Сильно порушена
Рівень завданої шкоди	Мало помітна	Помітна	Значна	Катастрофічна
Можливість відновлення екосистеми	Рекультивация порушених ділянок або природне поповнення	Рекультивация порушених ділянок	За рахунок суцільної рекультивации	За рахунок суцільної рекультивации

лише на порушених ділянках, так як на інших площах (полях, виділах, кварталах, болотах) екосистеми зберегли свій стан без змін.

Під станом з ступенем дуже порушених і сильно порушених екосистем незаконним видобутком бурштину слід очікувати і спостерігати прояви екодеструктивного фактора впливу на неї, при якому порушується до 70 і 100% її площі відповідно.

Значна і дуже значна руйнівна шкода, що завдається цим екосистемам, практично унеможлиблює відновлення не лише їх екологічної рівноваги, а й поновлення родючості ґрунтів до попереднього рівня після рекультивации та біопродуктивності. На рекультивованих площах будуть створені менш продуктивні екосистеми з втратою біорізноманіття.

Градація факторів «слабо порушені – сильно порушені» може бути покладена в основу системи діагностики екологічної безпеки порушених незаконним видобутком бурштину екосистем та вибору способів їх рекультивации.

Повна класифікація факторів, що впливають на стан екологічної безпеки екосистем порушених незаконним видобутком бурштину представлена у таблиці 3.

Площу ділянок порушених незаконним видобутком бурштину рекомендується встановлювати розрахунковим методом, а саме: через заміри та використання формул площ кіл (утворення колових розмивів гідромеханізованим способом); формул площ прямокутників (при використанні способу розкопів) віднесених у відсотках до площі 1 га.

Площі ділянок порушених незаконним видобутком бурштину можна визначати за знімками Sentinel-2 або ортофотопланом. Різниця площ, визначених для порівняння цими методами, не

перевищує 5% (Янчук Р., Прокопчук А., Трохимець С., 2017).

У процесі вибору напрямку рекультивации порушених незаконним видобутком бурштину аграрних екосистем (паїв, городів, пасовищ, лук), площа яких у Рівненській області сягає біля 500 га, слід керуватись наступними підходами повернення деградованих угідь до їх попереднього або наближеного станів, а саме: на слабо і частково порушених агроекосистемах рекультивация включає засипання воронки, розкопів, планування поверхні, внесення вапна, високих норм органічних і мінеральних добрив, оранки, висіву сидиратів; на дуже і сильно порушених агроекосистемах рекультивация включає суцільне планування поверхні бульдозерами, внесення вапна, високих норм органічних і мінеральних добрив, активних мікроорганізмів, проведення оранки, висіву сидиратів (2 роки підряд з їх пріорюванням).

При виборі напрямку рекультивации порушених незаконним видобутком бурштину лісових екосистем, площа яких в області сягає 400 га, слід намагатись поновити деревостан, який сформувався у наділах і кварталах до їх пошкодження, а саме: на слабо і частково лісових екосистемах (A1, A2, B2, B3, C2, C3) шляхом проведення санітарних рубок підмитих і повалених дерев сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), берези повислої (*Betula pendula* ROTH), вільхи клейкої (*Alnus glutinosa* L.), засипку воронки, розкопів та сприяння процесам природнього поновлення найстійкіших деревних видів з частковою їх лісопосадкою; на дуже і сильно порушених лісових екосистемах шляхом часткового планування поверхні (засипання воронки і розкопів), проведенням суцільної вибір-

**Класифікація факторів впливу(процесів незаконного видобутку бурштину)  
на екологічну безпеку регіону**

Ознаки класифікації	Види факторів	Характеристики
Джерела виникнення впливу	Антропогенні	Фактори, обумовлені діяльністю людини
Періодичність дії	Незначного впливу	Фактори, які епізодично впливають на стан екологічної безпеки в регіоні
Масштаби охоплення	Регіональні, локальні	Дія яких має регіональний характер, дія яких має локальний характер
Характер впливу	Деструктивні	Фактори, які негативно впливають на екологічну безпеку в регіоні
Участь посередників при дії фактора	Прямого і опосередкованого впливу	Фактори, які прямо і опосередковано впливають на забезпечення екологічної безпеки в регіоні
Внутрішня сутність	Соціальні	Пов'язані з рівнем, якістю, традиціями життя, культурою, свідомістю, освітою населення
	Економічні	Наявністю безробіття, низькими доходами населення
	Екологічні	Пов'язані з рівнем екологічної освіченості і наявністю екологічної свідомості
	Адміністративно-правові	Пов'язані з способами, формами, методами, рівнем регулювання відносин між громадами і державою та у сфері взаємодії людини і довкілля
Ступінь та інтенсивність впливу	Слабо порушені	Існує ймовірність порушення екологічної рівноваги екосистем, існує здатність до природного оновлення екосистеми
	Частково порушені	Завдають помітної шкоди, призводять до часткового порушення екологічної рівноваги, відновлення якої можливе за рахунок рекультивациі порушених ділянок
	Дуже порушені	Завдають значної шкоди, призводять до дуже порушеної екологічної рівноваги, відновлення якої можливе за рахунок суцільної рекультивациі
	Сильно порушені	Завдають катастрофічної шкоди, призводять до сильного порушення екологічної рівноваги, відновлення якої можливе за рахунок суцільної рекультивациі

кової рубки та посадки дерев сосни звичайної, берези повислої.

При виборі водогосподарського напрямку рекультивациі порушених незаконним видобутком бурштину водно-болотних, болотних угідь, який передбачає використання кар'єрних виїмок, котловин, понижень, блюдець, боліт для створення водних об'єктів (водойм, ставків) або водно-болотних угідь, які планується створити на землях лісового і водного фонду, слід керуватись наступними підходами, а саме: для рибництва – будівництво водойми (ставка) з водним дзеркалом більше 1 га глибиною понад 2 м, яке формується стоком з поверхні водозбору і може бути не проточним, а при наявності підживлення із джерел – протічним; для відновлення і функціонування водно-болотних угідь, боліт шляхом підтримання тимчасового, періодичного або постійного затоплення понижень, западин, виїмок глибиною до 2 м.

**Висновки:** 1. Негативні наслідки від незаконного видобутку бурштину несуть загрозу соціальним, економічним та екологічним складовим безпеки громад, районів і регіонів зони Полісся України, та зумовлюють стан і рівень їхньої екологічної безпеки.

2. Пропонується розмежування антропогенних факторів впливу на стан екологічної безпеки екосистем (аграрних, лісових, водно-болотних) порушених незаконним видобутком бурштину здійснювати за ступенем їх порушення, а саме: слабо порушені до 10%, частково порушені від 10 до 30%, дуже порушені від 30 до 70%, сильно порушені від 70 до 100% віднесених у % до площі 1 га.

3. Площі ділянок порушених незаконним видобутком бурштину (гідромеханізованим способом або розкопами) рекомендується визначати експериментальними методами, а саме: розрахунковим за знімками Sentinel-2 або ортофотопланом.



4. Рекультивацію порушених екосистем незаконним видобутком бурштину рекомендується здійснювати за сільськогосподарським, лісгосподарським напрямками у три етапи. На підготовчому етапі проводять комплексну оцінку соціо-економічних, гідрогеологічних, гідрологічних, ґрунтових, ботанічних умов порушених територій, вивчають склад ґрунтів і материнських та підстилаючих порід, визначають ступінь пошкодження паїв, городів, кварталів, пасовищ, наділів, луків та обирають напрям їх рекультивації. На другому гірничо-механічному етапі: на слабо і частково порушених агроекосистемах проводять засипку воронок, розкопів, планування поверхні, внесення вапна, а на лісових екосистемах – проводять санітарні рубки підмитих і повалених та ушкоджених дерев, засипку воронок, розкопів; на дуже і сильно порушених агроекосистемах – проводять суцільне планування поверхні бульдозерами, внесення вапна, а на лісових екосистемах проводять вибірку або суцільну

рубки, заліпку воронок і розкопів. На третьому біологічному етапі на слабо і частково порушених агроекосистемах вносять високі норми органічних, мінеральних добрив, проводять оранку і висів сидератів, а на лісових екосистемах – сприяють природному поновленню найстійкіших деревних видів; на дуже і сильно порушених агроекосистемах пропонується внесення високих норм органічних, мінеральних добрив, активних мікроорганізмів, проведення оранки, висіву сидератів з їх пріорюванням, а на лісових екосистемах – посадка дерев сосни звичайної, берези повислої.

5. Водогосподарський напрям рекультивації передбачає використання кар'єрних виїмок, котловин, понижень, блюдець, боліт для створення водних об'єктів, а саме: для рибництва шляхом будівництва ставків з водним дзеркалом більше 1 га і глибиною понад 2 м; для відновлення водно-болотних угідь, або боліт шляхом підтримання тимчасового, періодичного або постійного їх затоплення глибиною менше 2 м.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Сонько С.П., Максименко Н.В. Екологічні основи збалансованого природокористування у агросфері: навчальний посібник. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2015. 568 с.
2. Клименко М.О., Борисюк Б.В., Колесник Т.М. Збалансоване використання земельних ресурсів: навчальний посібник. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. 552 с.
3. Земельні ресурси України / за ред. В.В. Медведєва, Т.М. Лактіонової. К.: Аграрна наука, 1998. 150 с.
4. Розанов Б.Г., Розанов А.Б. Экологические последствия антропогенного изменения почв. Москва. 1990.
5. Ковалевський С.Б., Ковалевський С.С., Долід О.Л. Стан лісових ділянок ДП. «Сарненське ЛГ» порушених внаслідок незаконного видобутку бурштину / *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019, Т29 № 7. с. 96-99.
6. Герасимчук З.В., Олексюк А.О. Екологічна безпека регіону: діагностика та механізми забезпечення: монографія. Луцьк: Надстир'я, 2007. 280 с.
7. Хотунцев Ю.Л. Экология и экологическая безопасность. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2002. 480 с.
8. Акимова Т.А., Хачкин В.В. Экология. Человек-Экономика-Биота-Среда. Учебник для вузов. -2-е изд., перераб. и доп. – М.:ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 566 с.
9. Данилишин Б.М. Природно-техногенні катастрофи: проблеми екологічного аналізу та управління. К.: ЗАТ «Начлава», 2001. 260 с.
10. Тихомиров Н.П., Потравный И.М., Тихомирова Т.М. Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками. Учеб. пособие для вузов / под. ред. проф. Тихомирова Н.П.-М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 350 с.
11. Янчук Р., Прокопчук А., Трохимець С. Ідентифікація та визначення площ порушених внаслідок незаконного видобутку бурштину земель на основі багатозональних супутникових знімків Sentinel-2 / *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. випуск 1(33), 2017. с. 120-124.

#### REFERENCES:

1. Sonko S.P., Maksymenko N.V. Ekolohichni osnovy zbalansovanoho pryrodokorystuvannia u ahrosferi: navchalnyi posibnyk. Kharkiv: KhNU imeni V.N. Karazina, 2015. 568 s. [in Ukrainian].
2. Klymenko M.O., Borysiuk B.V., Kolesnyk T.M. Zbalansovane vykorystannia zemelnykh resursiv: navchalnyi posibnyk. Kherson: OLDI-PLUS, 2014. 552 s. [in Ukrainian].
3. Zemelni resursy Ukrainy / za red. V.V. Medvedieva, T.M. Laktionovoi. K.: Ahrarna nauka, 1998. 150 s. [in Ukrainian].
4. Rozanov B.H., Rozanov A.B. Ekolohycheskye posledstvyia antropohennoho yzmenenyia pochv. Moskva. 1990. [in Russian].

5. Kovalievskiy S.B., Kovalievskiy S.S., Dolid O.L. Stan lisovykh dilianok DP. «Sarnenske LH» porushenykh vnaslidok nezakonnoho vydobutku burshtynu / Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. 2019, T29 № 7. s.96-99. [in Ukrainian].
6. Herasymchuk Z.V., Oleksiuk A.O. Ekolohichna bezpeka rehionu: diahnostyka ta mekhanizmy zabezpechennia: monohrafiia. Lutsk: Nadstyria, 2007. 280 s. [in Ukrainian].
7. Khotuntsev Yu.L. Ekolohyia y ekolohycheskaia bezopasnost. Uchebnoe posobyе dlia studentov vysshykh uchebnykh zavedenyi. M.: Yzdatelskyi tsentr «Akademyia», 2002. 480 s. [in Russian].
8. Akymova T.A., Khachkyn V.V. Ekolohyia. Chelovek-Эkonomyka-Byota-Sreda. Uchebnyk dlia vuzov. -2-e yzd., pererab. y dop. – M.:IuNYTY-DANA, 2001. 566 s. [in Russian].
9. Danylyshyn B.M. Pryrodno-tekhnohenni katastrofy: problemy ekolohichnoho analizu ta upravlinnia. K.: ZAT «Nachlava», 2001. 260 s. [in Ukrainian].
10. Tykhomyrov N.P., Potravnyi Y.M., Tykhomyrova T.M. Metody analiza y upravlenyia ekoloho-ekonomycheskymy ryskamy. Ucheb. posobyе dlia vuzov / pod. red. prof. Tykhomyrova N.P.-M.: YuNYTY-DANA, 2003. 350 s. [in Russian].
11. Yanchuk R., Prokopchuk A., Trokhymets S. Identyfikatsiia ta vyznachennia ploshch porushenykh vnaslidok nezakonnoho vydobutku burshtynu zemel na osnovi bahatozonalnykh suputnykovykh znimkiv Sentinel-2 / Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva. vypusk 1(33), 2017. s.120-124. [in Ukrainian].

УДК 504.502:349.42(477.8)

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-2>

**Ольга ВАРЖЕЛЬ**

здобувач третього рівня вищої освіти, Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028

**Бібліографічний опис статті:** Варжель, О. (2022) Моніторинг стану екологічної безпеки антропоцентричної складової агросфери Рівненської області. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 11–16, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-2>

**МОНІТОРИНГ СТАНУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ  
АНТРОПОЦЕНТРИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ АГРОСФЕРИ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

За даними досліджень у Рівненській області найбільш поширеними хворобами серед населення області впродовж останніх років є хвороби систем кровообігу – від 3928 до 5990; органів дихання – від 1936 до 5111; органів травлення – від 753 до 2451; новоутворень – від 175 до 495 випадків на 10000 осіб.

Показник смертності дітей віком до 1 року, при коливанні по районах від 6,0 до 12,9, зменшився і становив у 2020 році 5,3 проти 8,51 на 1000 народжених живими у 2015 році, при цьому у структурі причин смертності новонароджених займають стани, що виникають у перинатальному періоді (52,9%) та вроджені вади розвитку і хромосомні аномалії (25,3 %) померлих дітей.

Установлено, що диференціація поширеності хвороби серед населення області обумовлена екологічними чинниками, а саме: забруднення шкідливими речовинами атмосферного повітря, малі площі лісів у лісостепових районах, споживання населенням неякісних продуктів харчування, забруднених радіонуклідами, питної води, яка не відповідає нормативам, та надходженням до приміщень газу радону.

Стандартизацію показників антропоцентричної складової у шкалі від 0 до 1 рекомендується здійснювати за залежностями, які мають вид спадаючих парабол другого порядку, а стани екологічної безпеки слід визначати за шкалою: екологічно безпечні – від 1 до 0,6835; екологічно ризикові – від 0,6835 до 0,4851; екологічно загрозові – від 0,4851 до 0,1902; екологічно небезпечні – від 0,1902 до 0.

За поширеністю хвороб райони області оцінюються наступними категоріями: хвороби органів дихання: 2 – ризику (0,54), 12 – загрози (0,20-0,35), 2 – небезпеки (0,13-0,18); органів травлення: 2 – небезпеки (0,7-0,78), 12 – ризику (0,49-0,67), 2 – загрози (0,43-0,46); систем кровообігу: 16 – загрози (0,20-0,43); новоутворень: 2 – безпека (0,72-0,73), 13 – ризику (0,51-0,65), 1 – загрози (0,35). За смертністю дітей до 1 року, народжених живими, райони оцінюються категоріями: 1 – безпека (0,74), 7 – ризику (0,49-0,60), 8 – загрози (0,29-0,46).

За інтегральним індексом рівня екологічної безпеки антропоцентричної складової агросфери територія області оцінюється наступними категоріями: у зоні Полісся 1 район – ризику (0,53), 6 – загрози (0,42-0,48); у зоні Лісостепу: 1 район – ризику (0,56), 8 – загрози (0,39-0,48).

**Ключові слова:** хвороби, моніторинг, екологічна безпека, безпека, ризик, загроза, небезпека.

**Olga VARZHEL**

Applicant for the third level of higher education, National University of Water and Environmental Engineering, Soborna str., 11, Rivne, Ukraine, 33028

**To cite this article:** Varzhel, O. (2022). Monitorynh stanu ekolohichnoi bezpeky antropotsentrychnoi skladovoi ahrosfery Rivnenskoï oblasti [Monitoring of the state of ecological safety of agrosphere anthropocentric component of Rivne region]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 11–16, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-2>

**MONITORING OF THE STATE OF ECOLOGICAL SAFETY OF AGROSPHERE  
ANTHROPOCENTRICAL COMPONENT OF RIVNE REGION**

According to the research the most widely spread diseases among inhabitants of Rivne region during the last years are diseases of blood circulation system (from 3928 to 5990), breathing organs (from 1936 to 5111), digestion organs (from 753 to 2451) and neoplasms, from 175 to 495 occurrences per 10000 persons.

The index of children's under a year of life mortality fluctuating from 6.0 to 12.9 in the districts is reduced and makes 5.3 in 2020 comparing with 8.51 in 2015. Besides, in the structure of mortality reasons of new-born children there are

states that appear during parental period, that is 52.9 percent, and innate defects of the development and chromosome anomalies make 25.3 percent of children's death.

It is ascertained that differentiation of disease spreading among region population is caused by ecological factors, such as air pollution by harmful substances, small forest areas in forest and steppe districts, consumption by people food of bad quality polluted by radionuclides, fresh water that does not correspond to the standards and coming of gas radon into apartments.

It is recommended to show the standards of indices of anthropocentric component on the scale from 0 to 1 using dependencies that look like falling down parabolas of the second order, and the state of ecological safety should be determined according to the following scale: ecologically safe from 1 to 0.6835, ecologically risky from 0.6835 to 0.4851, ecologically threatening from 0.4851 to 0.1902, ecologically dangerous from 0.1902 to 0.

As for the spreading of diseases the districts of the region are estimated by the following categories: breathing organs diseases – 2 of risk (0.54), 12 – threats (0.20-0.35), 2 – danger (0.13-0.18); digestion organs – 2 danger (0.7-0.78), 12 – risk (0.49-0.67), 2 – threats (0.43-0.46); blood circulation system – 16 threats (0.20-0.43); neoplasms: 2 – danger (0.72-0.73), 13 – risk (0.51-0.65), 1 – threats (0.35). As for the mortality of children under a year of life, born alive, the districts are estimated by the following categories: 1 – safety (0.74), 7 – risk (0.49-0.60), 8 – threats (0.29-0.46).

As for integral index of the level of ecological safety of the anthropocentric component of agrosphere, the territory of the region is estimated by the following categories: in the zone of Polissya 1 district – risk (0.53), 6 – threats (0.42-0.48); in the zone of forest and steppe 1 district – risk (0.56), 8 – threats (0.39-0.48).

Thus, it is obvious that a high level of diseases of breathing and digestion organs, system of blood circulation, neoplasms and children under a year of life mortality still remains a significant, medical and biological, socio-economic, ecological problem, both of the districts and the whole of the region. Destructive ecological factors and, first of all, presence of pollutants in the air; consumption of bad quality fresh water; foodstuffs containing radionuclides, coming of gas radon into apartments play a considerable role in the spreading diseases among population.

**Key words:** diseases, monitoring, ecological safety, risk, threat, danger, presence of pollutants.

**Актуальність проблеми.** На даний час важливого значення набуває проблема дослідження впливу будь якої антропогенної, в тому числі й техногенної діяльності на стан здоров'я населення. Чисельні наукові дослідження і статистика засвідчують про наявність залежності показників захворюваності населення всіх вікових груп від рівня антропогенного навантаження, що зумовлено кліматичними особливостями, високою питомою вагою викидів шкідливих речовин від стаціонарних і пересувних джерел, споживанням неякісних продуктів харчування, питної води, яка не відповідає вимогам ДСанПіНу, та надходженням до приміщень будинків радону (Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2000 році, 2001; Сухоруків А.І., 2003; Герасимчук З.В., Олексюк А.О., 2007; Населення України 2004. Демографічний щорічник, 2005; Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2018 р., 2019; Клименко М.О., Лебідь О.О., 2017 р.).

У зв'язку з цим виникає потреба у дослідженні залежності між показниками захворюваності населення та забрудненням довкілля. Значної уваги дослідженню цієї проблеми на даний час не приділяється, моніторинг майже відсутній.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За даними наукових досліджень медико – демо-

графічна ситуація в Україні протягом останніх трьох десятиліть суттєво погіршувалась. Спостерігається дуже значене скорочення народжуваності у Рівненській області з 15,9 у 2012 р. до 11,5 на 1000 осіб у 2018 році, а природний приріст населення набув негативної динаміки і у 2018 році знизився з -0,2 до -1,0 на 1000 осіб.

Структура смертності протягом останніх років в області залишається незмінною: на першому місці є хвороби систем кровообігу; на другому – новоутворення; на третьому – травми та отруєння (Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2018 р., 2019).

В Україні також основними причинами смертності є хвороби систем кровообігу та злоякісні новоутворення (Населення України 2004. Демографічний щорічник, 2005). При цьому за оцінками науковців намітилась стійка тенденція до зростання постійним темпом захворювань на злоякісні новоутворення 1-1,5% на рік (Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2001 році, 2003). Поряд з цим дослідження вчених засвідчують високу залежність захворюваності органів дихання, особливо хронічного бронхіту, бронхіальної астми, алергічного риніту, від впливу негативних чинників забрудненого довкілля, зокрема забрудненості атмосферного повітря (Національна доповідь про стан навколишнього

природного середовища в Україні у 2000 році, 2001; Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2001 році, 2003). Переконаливо доказано, що високі концентрації радону у приміщеннях, де проживають або працюють люди, спричиняють їх захворюваність на рак легенів (Клименко М.О., Лебідь О.О., 2017; Лебідь О.О., Мислінчук В.О., Андрєєв О.А., 2007), а якість питної води впливає на стан здоров'я населення і визначає ступінь екологічної безпеки цілих регіонів (Бережнов С.П., 2006).

Аналіз цих наукових праць засвідчує, що зростання рівня захворюваності населення обумовлюється погіршенням стану довкілля. Однак мало уваги приділяється діагностуванню екологічної безпеки територій районів за різними видами хвороби.

**Мета роботи** полягала в оцінюванні стану екологічної безпеки антропоцентричної складової агросфери Рівненської області.

Досягнення мети передбачало вивчення наступних завдань: проведення стандартизації показників антропоцентричної складової в шкалу від 0 до 1; обрання еталонних значень для показників антропоцентричної складової та інтегрального індексу для цієї складової.

**Об'єкти дослідження.** Процеси впливу показників довкілля на поширеність захворюваності населення, смертність та формування екологічних ризиків для населення області.

**Предмет досліджень.** Показники, які характеризують якість довкілля, рівні поширеності захворюваності, величини екологічної безпеки та екологічних ризиків.

**Методики та методи дослідження.** Стандартизацію показників антропоцентричної складової проводили за встановленими нами залежностями, використовувалися загальнонаукові методи (аналізу, узагальнення, абстрагування, синтезу), кореляційного та регресійного аналізу з використанням програм Microsoft Excel.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** За даними Головного управління статистики в області станом на 01.01.2019 року чисельність наявного населення становила 1157,3 тис. осіб, в т. ч. міське населення 549,6 тис. осіб, сільське – 607,7 тис. осіб. Середня тривалість життя в області дещо вища ніж в Україні, в цілому становить 71,6 років (чоловіки –

66,6 років, жінки – 76,7 років) (Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2018 р.; 2019).

У порівнянні з 2014 роком у 2020 зменшився природний приріст з +2,1 до -2,9, зменшився рівень народжуваності з 14,8 до 10,6, показник смертності змінився з 12,7 до 13,5, зменшився показник дитячої смертності до 1 року з 8,02 до 5,3. Природне поповнення населення зберігається лише у поліських регіонах Березнівському, Володимирецькому, Рокитнівському, Сарненському та містах Рівне і Вараш.

Величини поширеності серед населення області хвороб змінюються впродовж 2014-2019 років несуттєво і коливаються в межах на 1000 осіб: хвороби систем кровообігу від 491 до 468,0; хвороби органів дихання від 365,4 до 362; ендокринної системи з 138 до 141; крові і кровотворних органів з 20 до 16,3; новоутворень з 39,8 до 48,4 випадків.

Стан довкілля на період 2018 року характеризувався в області та районах у зоні Полісся наявністю викидів забруднюючих речовин в атмосферу від 1,6 до 7 кг/людину, невідповідністю якості питної води вимогам ДСПіН 2.2.4 -171-10 за хімічними від 11,4 до 33,5% та мікробіологічними показниками від 19,3 до 44%, вмістом Цезію-137 в ґрунтах від 0,06 до 0,94 Кі/км<sup>2</sup>; у зоні Лісостепу наявності площ лісів від 17 до 25%, викидів забруднюючих речовин в атмосферу від 1,9 до 47,7 кг/людину, невідповідності якості питної води нормативам за хімічними від 12,6 до 36,6% та мікробіологічними показниками від 13,6 до 32,2%, виділенням радону з поверхні ґрунту від 28 до 89 мБк/(м<sup>2</sup>\*с).

Зазначені відмінності у стані довкілля районів області обумовили диференціацію поширеності хвороби серед населення. Так найнижчі показники поширеності хвороби були виявлені: органів дихання у Зарічненському (1950), Дубровицькому (1936) районах; органів травлення у Дубенському (753), Радивилівському (1065); систем кровообігу Радивилівському (3928), Володимирецькому (4070); новоутворень у Зарічненському (183), Дубенському (212) випадків на 1000 осіб.

Тоді як найвищі показники поширеності хвороби були виявлені у районах: органів дихання у Рівненському (5111), Радивилівському (4519); органів травлення Березнівському (2262), Сар-

ненському (2451); системи кровообігу Зарічненському (5952), Костопільському (5990), новоутворень Здолбунівському (495) випадків на 10000 осіб.

Найнижчі показники смертності малюків до 1 року були встановлені у районах: у Зарічненському (6,1) і Костопільському (6,0), а найвищі у Острозькому (12,2), Млинівському (10,6) випадків на 1000 осіб.

Враховуючи діапазони змін показників поширеності хвороби, нами проведена процедура їх стандартизації у шкалу від 0 до 1,0, що забезпечить лімітування цих одиниць та співставність, які входять до індексу та інтегрального показника рівня екологічної безпеки антропоцентричної складової агросфери області.

Необхідні для стандартизації перетворення пропонуємо здійснити за допомогою отриманих нами залежностей (таблиця 1).

За науковими розробками науковців градація факторів за ступенем їх впливу на екологічну безпеку повинна бути наступною, а саме: екологічно безпечні від 1 до 0,6835; екологічно ризикові від 0,6835 до 0,4851; екологічно загрозові від 0,4851 до 0,1902; екологічно небезпечні від 0,1902 до 0 (Герасимчук З.В., Олексюк А.О., 2007).

У відповідності до цього доцільно виділяти наступні критерії екологічної безпеки антропоцентричної складової: екологічної безпеки – підтримання показників антропоцентричної складової наближеними до мінімальних; екологічного ризику – появи екологічної небезпеки в антропоцентричній складовій внаслідок перевищення мінімальних значень показників поширеності хвороби; екологічної загрози – появи екологічної небезпеки в антропоцентричній складовій внаслідок значного перевищення мінімальних значень більшості показників поширеності хвороби, при збереженні можливостей зниження цих показників

близьких до мінімальних; екологічної небезпеки – наявності значного впливу екодеструктивних чинників, які порушують структуру антропоцентричної складової внаслідок наближення показників поширеності хвороби до максимальних рівнів і коли їх зниження до попередніх рівнів стає неможливим.

Результати оцінки екологічної безпеки антропоцентричної складової районів області за кількісними і якісними показниками представлено у табл. 2.

Як видно з таблиці 2, за поширеністю хвороби органів дихання райони області оцінюються категоріями екологічної безпеки: 2 ризику (0,54); 12 загрози (0,20-0,35); 2 небезпеки (0,13-0,18). За поширеністю хвороби кровообігу всі райони області за критеріями екологічної безпеки характеризуються загрозовим станом (0,20-0,43), а за поширеністю новоутворень 2 райони оцінюються категорією безпеки (0,72-0,73), 13 – ризику (0,51-0,65) 1 – загрози (0,35). За показником смертності малюків до 1 року народжених живими райони області оцінюються категоріями екологічної безпеки: 1 район – безпеки (0,74), 7 – ризику (0,49-0,60), 8 – загрози (0,29-0,46).

За інтегральним індексом рівня екологічної безпеки антропоцентричної складової агросфери територія області оцінюється категоріями: Зарічненський (0,60), Дубенський (0,56) райони ризику; Володимирецький (0,48), Дубровицький (0,48), Рокитнівський (0,48), Радивилівський (0,48) на верхній межі категорії загрози, інші 10 категорією загрози (0,29-0,47).

В цілому по зоні Полісся, за інтегральним індексом рівня екологічної безпеки, території районів оцінюються показником 0,47, що відповідає категорії загрози на верхній межі, а у зоні Лісостепу вона характеризується рівнем 0,43 екологічної безпеки – загрози.

Таким чином, стає очевидним той факт, що високий рівень поширеності хвороби органів

Таблиця 1

**Залежності поширеності хвороби та смертності малюків**

Назва хвороби	Вид залежності	Мах. значення	R <sup>2</sup>
Органів дихання, на 10000 осіб	$y=2E-0,8x^2-0,00027x+0,9873$	6000	0,997
Органів травлення, на 10000 осіб	$y=3E-0,8x^2-0,0003x+0,9873$	5000	0,999
Систем кровообігу, на 10000 осіб	$y=6E-0,9x^2-0,00017x+0,0016$	10000	0,999
Новоутворень, на 10000 осіб	$y=6E-0,7x^2-0,0016x+0,9903$	10000	0,998
Смертність малюків до 1 року, на 1000 осіб	$y=0,0013x^2-0,0703x+0,9804$	24	0,998

**Розрахунок показників екологічної безпеки орних земель Рівненської області  
за показниками антропоцентричної складової (за 2010-2015рр.)**

Назва районів	Поширеність хвороби на 10000 осіб								Смертність малюків до 1 року, 1000 осіб		Інтегр. індекс	Якісний стан антроп. складової
	Органів дихання		Органів травлення		Систем кровообігу		Новоутворень					
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
Березнівський	3355	0.31	2262	0.46	4725	0.33	293	0.57	8.8	0.46	0.43	загрозливий
Володимирецький	3375	0.30	1736	0.56	4070	0.41	253	0.62	8.3	0.49	0.48	загрозливий
Дубровицький	3394	0.30	1204	0.67	4105	0.40	289	0.58	8.8	0.46	0.48	загрозливий
Зарічненський	1950	0.54	1611	0.58	5952	0.20	183	0.72	6.1	0.60	0.53	ризик
Костопільський	3034	0.35	1717	0.56	5990	0.20	318	0.54	6.0	0.60	0.45	загрозливий
Рокитнівський	3359	0.31	1862	0.53	4114	0.40	175	0.73	9.2	0.44	0.48	загрозливий
Сарненський	4226	0.20	2451	0.43	4773	0.33	245	0.63	7.8	0.51	0.42	загрозливий
По Поліссю	3240	0.32	1835	0.54	4818	0.32	251	0.63	7.0	0.55	0.47	загрозливий
Гошанський	3967	0.23	1863	0.53	5965	0.20	261	0.61	9.8	0.42	0.40	загрозливий
Демидівський	3919	0.24	2076	0.49	5235	0.27	322	0.54	6.8	0.51	0.41	загрозливий
Дубенський	1936	0.54	753	0.78	4183	0.40	212	0.68	10.2	0.40	0.56	ризик
Здолбунівський	3449	0.29	1325	0.64	4985	0.30	495	0.35	3.7	0.74	0.46	загрозливий
Корецький	3268	0.32	1746	0.55	4718	0.33	309	0.55	12.9	0.29	0.41	загрозливий
Млинівський	3976	0.23	1377	0.63	5023	0.30	349	0.51	10.6	0.38	0.41	загрозливий
Острозький	3975	0.23	1858	0.53	5259	0.27	281	0.59	12.2	0.32	0.39	загрозливий
Радивилівський	4519	0.18	1065	0.70	3928	0.43	258	0.62	8.2	0.49	0.48	загрозливий
Рівненський	5111	0.13	1606	0.58	4666	0.34	227	0.66	8.0	0.50	0.44	загрозливий
По Лісостепу	3791	0.25	1518	0.60	4885	0.31	302	0.56	9.2	0.44	0.43	загрозливий

Примітка: 1 – фактичні дані поширення хвороби і смертності малюків; 2 – стандартизовані показники у шкалу від 0 до 1;

дихання, травлення, системи кровообігу, новоутворень та смертності дітей до 1 року залишається важливою медико-біологічною та соціально-економіко-екологічною проблемою як районів, так і в цілому області. Визначальну роль у поширенні хвороб серед населення відіграють деструктивні екологічні фактори і, насамперед, наявність у повітрі забруднюючих речовин, споживання неякісною питної води, продуктів харчування з вмістом радіонуклідів, надходженням до приміщень будинків газу радону.

**Висновки:** 1. Найбільш поширеними хворобами серед населення області впродовж останніх років є хвороби систем кровообігу: від 3928 до 5990; органів дихання: від 1936 до 5111; органів травлення: від 753 до 2451; новоутворень: від 175 до 495 випадків на 10000 осіб.

2. Показник смертності дітей віком до 1 року, при коливанні по районах від 6,0 до 12,9, зменшився і становив у 2020 році 5,3 проти 8,51 на 1000 народжених живими у 2015 році, при цьому у структурі причин смертності новонароджених займають стани, що виникають у перинатальному періоді (52,9 %) та вроджені

вади розвитку і хромосомні аномалії (25,3 %) померлих дітей.

3. Диференціація поширеності хвороби серед населення області обумовлена екологічними чинниками, а саме: забрудненням шкідливими речовинами атмосферного повітря, малі площі лісів у лісостепових районах, споживання населенням неякісних продуктів харчування, забруднених радіонуклідами, питної води, яка не відповідає нормативам, та надходженням до приміщень газу радону.

4. Стандартизацію показників антропоцентричної складової у шкалу від 0 до 1 рекомендується здійснювати за залежностями, які мають вид спадаючих парабол другого порядку, а стани екологічної безпеки слід визначати за шкалою: екологічно безпечні від 1 до 0,6835; екологічно ризикові від 0,6835 до 0,4851; екологічно загрозливі від 0,4851 до 0,1902; екологічно небезпечні від 0,1902 до 0.

5. За поширеністю хвороби райони області оцінюються наступними категоріями: хвороби органів дихання – 2 ризику (0,54); 12 загрози (0,20-0,35); 2 небезпеки (0,13-0,18); органів травлення 2 – небезпека (0,7-0,78); 12 ризику (0,49-0,67), 2-загроз (0,43-0,46); систем кро-

вообігу 16 – загроз (0,20-0,43); новоутворень 2-безпека (0,72-0,73), 13 – ризику (0,51-0,65), 1 загрози (0,35). За смертністю дітей до 1 року, народжених живими, райони оцінюються категоріями: 1 – безпека (0,74), 7 – ризику (0,49-0,60), 8 – загрози (0,29-0,46).

6. За інтегральним індексом рівня екологічної безпеки антропоцентричної складової агросфери територія області оцінюється категоріями: у зоні Полісся 1 район – ризику (0,53), 6 – загрози (0,42-0,48); у зоні Лісостепу 1 район – ризику (0,56), 8-загрози (0,39-0,48).

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2000 році / Міністерство екології на природних ресурсів України, К.: Вид. Раєвського, 2001. 184 с.
2. Методичні рекомендації щодо оцінки рівня екологічної безпеки України / За ред. А.І. Сухорукова. Національний інститут проблем міжнародної безпеки. К.: 2003. 64 с.
3. Герасимчук З.В., Олексюк А.О. Екологічна безпека району: діагностика та механізм забезпечення: монографія. Луцьк: Надстир'я, 2007. 280 с.
4. Населення України 2004. Демографічний щорічник / Держкомстат України, К.: 2005. 408 с.
5. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2018 р. Рівне, 2019. 300с.
6. Клименко М.О., Лебідь О.О. Дослідження об'ємної активності радону внутрішньо-будинкового повітря м. Рівного. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського* № 3/2017(104)-4.1. с. 124-129.
7. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2001 році / Міністерство екології та природних ресурсів України. К.: Видавництво Раєвського, 2003. 184 с.
8. Лебідь О.О., Мислінчук В.О., Андреев О.А. Радон: моніторинг та геоекологічний аналіз його впливу на екосистему міста Рівного: монографія. Рівне: РМАНУМ, 2007. 208 с.
9. Бережнов С.П. Питна вода як фактор Національної безпеки / СЕС профілактична медицина: науково-виробниче видання (під ред. С.П. Бережнов) К.: 2006 № 4, с. 8-13.

#### REFERENCES:

1. Natsionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Ukraini u 2000 rotsi / Ministerstvo ekolohii na pryrodnykh resursiv Ukrainy, K.: Vyd. Raievskoho, 2001. 184 s. [in Ukrainian].
2. Metodychni rekomendatsii shchodo otsinky rivnia ekolohichnoi bezpeky Ukrainy / Za red. A.I. Sukhorukova. Natsionalnyi instytut problem mizhnarodnoi bezpeky. K.: 2003. 64s. [in Ukrainian].
3. Herasymchuk Z.V., Oleksiuk A.O. Ekolohichna bezpeka raionu: diahnostyka ta mekhanizm zabezpechennia: monohrafiia. Lutsk: Nadstyria, 2007. 280s. [in Ukrainian].
4. Naseleunia Ukrainy 2004. Demohrafichnyi shchorichnyk / Derzhkomstat Ukrainy, K.: 2005. 408 s. [in Ukrainian].
5. Dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Rivnenskkii oblasti u 2018 r. Rivne, 2019. 300s. [in Ukrainian].
6. Klymenko M.O., Lebid O.O. Doslidzhennia obiemnoi aktyvnosti radonu vnutrishno-budynkovoho povitria m. Rivnoho. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho* № 3/2017(104)-4.1. s. 124-129. [in Ukrainian].
7. Natsionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Ukraini u 2001 rotsi / Ministerstvo ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy. K.: Vydavnytstvo Raievskoho, 2003. 184 s. [in Ukrainian].
8. Lebid O.O., Myslinchuk V.O., Andriev O.A. Radon: monitorynh ta heoekolohichniy analiz yoho vplyvu na ekosystemu mista Rivnoho: monohrafiia. Rivne: RMANUM, 2007. 208 s. [in Ukrainian].
9. Berezhnov S.P. Pytna voda yak faktor Natsionalnoi bezpeky / CES profilaktychna medytsyna: naukovo-vyrobnyche vydannia (pid red. S.P. Berezhnov) K.: 2006 № 4, s. 8-13. [in Ukrainian].



УДК 630\*1(477.84):31-047.44

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-3>

**Любомир ГУЛАЙ**

доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID:** 0000-0003-3495-5027

**Зоряна ЛАВРИНЮК**

кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID:** 0000-0002-1906-3330

**Ольга КАРАЇМ**

кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID:** 0000-0002-1722-4110

**Олена ДЖАМ**

кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID:** 0000-0003-2222-3734

**Бібліографічний опис статті:** Гулай Л., Лавринюк З., Караїм О., Джам О. (2022). Еколого-статистичний аналіз основних аспектів ведення лісового господарства Тернопільської області. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 17–27, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-3>

## ЕКОЛОГО-СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ АСПЕКТІВ ВЕДЕННЯ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА ТЕРНОПІЛЬСЬКОЇ ОБЛАСТІ

В умовах наростаючого антропогенного впливу на лісові екосистеми виникає потреба в контролі за використанням цього цінного природного ресурсу. Тернопільська область володіє унікальним природним потенціалом. Значна територія області вкрита лісовими масивами, основну частку яких займають широколистяні породи. Еколого-статистичне дослідження основних аспектів ведення лісового господарства Тернопільської області, виявлення ключових тенденцій лісокористування є одним із пріоритетних завдань, оскільки ліси вкривають близько 14% території області, а збереження, відтворення й розширення лісових насаджень є необхідною передумовою у плануванні природоохоронних заходів.

**Метою роботи** є проведення еколого-статистичного аналізу основних аспектів ведення лісового господарства Тернопільської області у 2016–2020 роках та виявлення головних тенденцій.

**Методологія.** Дослідження проведено на основі методів збору інформації та статистичного аналізу даних. Усі обчислення проведено за допомогою програм Microsoft Excel та Microcal Origin (version 6).

У процесі здійснення досліджень використано дані Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України щодо Тернопільської області (екологічний паспорт), Тернопільської обласної державної адміністрації, Тернопільського обласного управління лісового й мисливського господарства за 2016–2020 роки.

**Наукова новизна.** На основі проведеного еколого-статистичного дослідження основних аспектів ведення лісового господарства Тернопільської області за 2016–2020 роки виявлено чітку тенденцію до зменшення обсягів рубок та обсягів вирубок лісів від лісової діяльності. Характер функцій дає змогу прогнозувати подальше зменшення цих показників. Така сама тенденція характерна для обсягів площ лісовідновлювальних робіт. Що стосується обсягів площ, відведених для лісорозведення, то для них характерна тенденція до збільшення за весь досліджуваний період. Крім того, з огляду на характер функції для цього показника прогнозуємо його подальше зростання.

**Висновки.** Встановлено, що стосовно обсягів рубок лісу головного користування в Тернопільській області та обсягів рубок лісу від лісових заходів, пов'язаних із вирубуванням деревини, має місце чітка тенденція до спадання. Обсяги площі лісовідновлювальних робіт також щорічно зменшувалися, проте спостерігається тенденція до зростання площі лісорозведення.

**Ключові слова:** лісове господарство, еколого-статистичний аналіз, лісовідновлення, лісорозведення.

**Lubomir GULAY**

Doctor of Science in Chemistry, Professor, Head of the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

**ORCID:** 0000-0003-3495-5027

**Zoryana LAVRYNYUK**

PhD of Chemistry, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

**ORCID:** 0000-0002-1906-3330

**Olha KARAIM**

PhD of Economics, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

**ORCID:** 0000-0002-1722-4110

**Olena DZHAM**

PhD of Chemistry, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

**ORCID:** 0000-0003-2222-3734

**To cite this article:** Gulay, L., Lavrynyuk, Z., Karaim, O., Dzham, O. (2022). Ekolooho-statystychnyi analiz osnovnykh aspektiv vedennia lisovoho hospodarstva Ternopil'skoi oblasti [Ecological and statistical analysis of the main aspects of forestry in Ternopil region]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 17–27, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-3>

## ECOLOGICAL AND STATISTICAL ANALYSIS OF MAIN ASPECTS OF FORESTRY MANAGEMENT OF TERNOPIL REGION

*In the context of growing anthropogenic impact on forest ecosystems, there is a need to control the use of this valuable natural resource. Ternopil region has a unique natural potential. A large area of the region is covered with forests, the main share of which is occupied by deciduous species. Ecological and statistical study of the main aspects of forestry in Ternopil region, identification of major trends is one of the priorities, as forests cover about 14% of the region, and conservation, reproduction and expansion of forests is a necessary prerequisite for planning environmental measures.*

**The aim of the work** is to conduct an ecological and statistical analysis of the main aspects of forestry in the Ternopil region in 2016–2020 and to identify the main patterns.

**Methodology.** The research was conducted on the basis of information collection methods and statistical data analysis methods. All calculations were performed by using Microsoft Excel and Microcal Origin (version 6).

The research used data from the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine in Ternopil region (environmental passport), Ternopil Regional State Administration, Ternopil Regional Department of Forestry and Hunting for 2016–2020 years.

**Scientific novelty.** Based on the conducted ecological and statistical study of the main aspects of forestry management of Ternopil region in 2016–2020, a clear trend to reduce the volume of deforestation from forestry activities. The nature of the functions allows to predict the decline in the future of these indicators. The same trend is characteristic of the volume of areas of reforestation. As for the volume of areas for afforestation, they are characterized by a tendency to increase over the entire study period. In addition, based on the nature of the function for this indicator, we predict its further growth.

**Conclusions.** It has been established that there is a clear downward trend in the volume of deforestation in the Ternopil region and the volume of deforestation from forest activities related to logging. The volume of reforestation works also decreased annually, there is a tendency to increase the area of afforestation.

**Key words:** forestry, ecological and statistical analysis, reforestation, afforestation.

**Актуальність проблеми.** У наш час зупинити процеси антропогенного навантаження на лісові екосистеми Тернопільської області неможливо, саме тому аналіз господарської діяльності лісового господарства області, раці-

онального використання її природного потенціалу та контроль за нею є актуальним і своєчасним завданням. Як відомо, ліси вкривають близько 14% території області. Оптимальний показник лісистості області становить, за роз-

рахунками вчених, близько 18%. Тому збереження, відтворення й розширення лісових насаджень на території Тернопільської області є необхідною передумовою у плануванні лісогосподарських заходів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

Питання збалансованого природокористування з точки ведення лісового господарства розглядалися у працях, автори яких звертали увагу насамперед на еколого-економічні аспекти (Замула, 2013; Дребот, 2012). На сьогодні важливе завдання – забезпечити виконання принципу екологізації та збалансованого управління лісогосподарською діяльністю Тернопільської області, що передбачає проведення еколого-статистичного аналізу ведення лісового господарства області за останні роки.

**Метою роботи** є еколого-статистичне дослідження основних аспектів ведення лісового господарства Тернопільської області у 2016–2020 роках та виявлення головних тенденцій.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

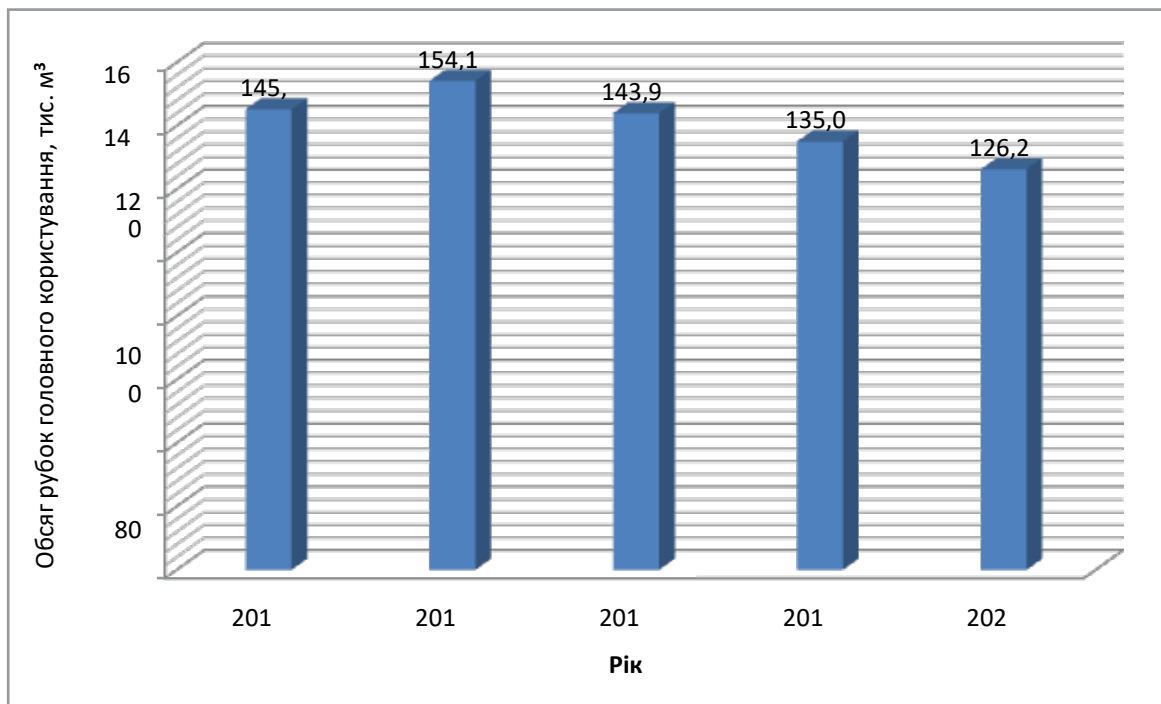
Еколого-статистичний аналіз основних аспектів ведення лісового господарства Тернопільської області у 2016–2020 роках та виявлення основних тенденцій лісокористування є одним із пріоритетних завдань, оскільки ліси є основним природним багатством області, а збере-

ження, відтворення й розширення лісових насаджень є необхідною передумовою у плануванні природоохоронних заходів. Нами було проведено аналіз таких аспектів ведення лісового господарства, як обсяги рубок лісу головного користування, рубки лісу від лісових заходів, пов’язані з вирубуванням деревини, обсяг площ лісовідновлювальних робіт та лісорозведення.

У процесі здійснення досліджень використано дані Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України щодо Тернопільської області (екологічний паспорт), Тернопільської обласної державної адміністрації, Тернопільського обласного управління лісового і мисливського господарства за 2016–2020 роки (Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, 2016а, 2016б, 2017а, 2017б, 2018а, 2018б, 2019, 2020; Управління екології та природних ресурсів Тернопільської обласної державної адміністрації, 2019, 2020).

Динаміка обсягу рубок лісу головного користування в Тернопільській області за 2016–2020 роки наведена на рисунку 1.

У результаті проведених еколого-статистичних розрахунків, здійснених на підставі використання наукових джерел (Тарасова, 2001; Мармоза, 2003, 2005; Глушков, Сурядний, 2006; Богданов, 2003), можемо констатувати:



**Рис. 1. Динаміка обсягу рубок лісу головного користування в Тернопільській області за 2016–2020 роки**

а) обсяги рубок лісу головного користування в Тернопільській області за 2016–2020 роки щорічно зменшувалися в середньому на 3,5%, що становить 4,734 тис. м<sup>3</sup>;

б) за 2016–2020 роки обсяги рубок лісу головного користування зменшилися на 18,939 тис. м<sup>3</sup>;

в) у 2018 році мало місце прискорення темпів зменшення обсягів рубок лісу головного користування;

г) у 2019 році було незначне уповільнення швидкості зменшення обсягів рубок лісу головного користування;

д) у 2020 році спостерігалось прискорення темпів зменшення обсягів рубок лісу головного користування;

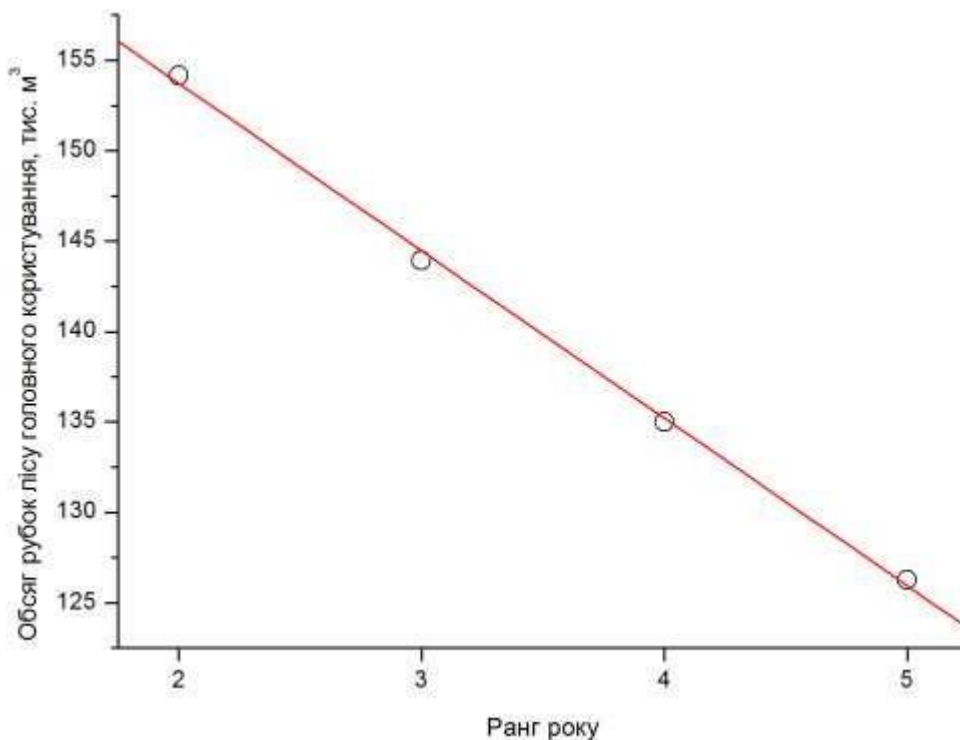
е) на зламі 2016–2017 років відбулося зростання обсягу рубок лісу головного користування; з 2017 року має місце чітка тенденція до зниження цього показника (див. рис. 2).

Структура рубок лісу головного користування в Тернопільській області у 2020 році показана на рисунку 3. Основну частку (81%) становлять рубки твердолистяних порід. Частка хвойних і м'яколистяних порід становить 15% та 4% відповідно.

Динаміка обсягу рубок лісу від лісових заходів, пов'язаних із вирубуванням деревини, у Тернопільській області за 2016–2020 роки наведена на рисунку 4. З огляду на аналіз даних робимо висновок, що обсяги рубок лісу від лісових заходів, пов'язаних із вирубуванням деревини, у Тернопільській області за 2016–2020 роки щорічно зменшувалися в середньому на 11,5%, що становить 15,875 тис. м<sup>3</sup>. За вказаний період часу цей показник зменшився на 63,5 тис. м<sup>3</sup>. Має місце чітка тенденція до зменшення обсягів рубок лісу від лісових заходів, пов'язаних із вирубуванням деревини, у Тернопільській області за 2016–2020 роки (див. рис. 5). У 2019 році основну частку становлять санітарні рубки (63,5%) та рубки догляду (25,7%). Частка інших видів рубок незначна (див. рис. 6).

Динаміка площі лісовідновлювальних робіт у Тернопільській області за 2016–2020 роки наведена на рисунку 7.

Отже, унаслідок аналізу даних можемо стверджувати, що обсяги площі лісовідновлювальних робіт у Тернопільській області за 2016–2020 роки щорічно зменшувалися в середньому на 17,6%, що становить 103,225



**Рис. 2. Обсяги рубок лісу головного користування в Тернопільській області за 2016–2020 роки (тенденція)**

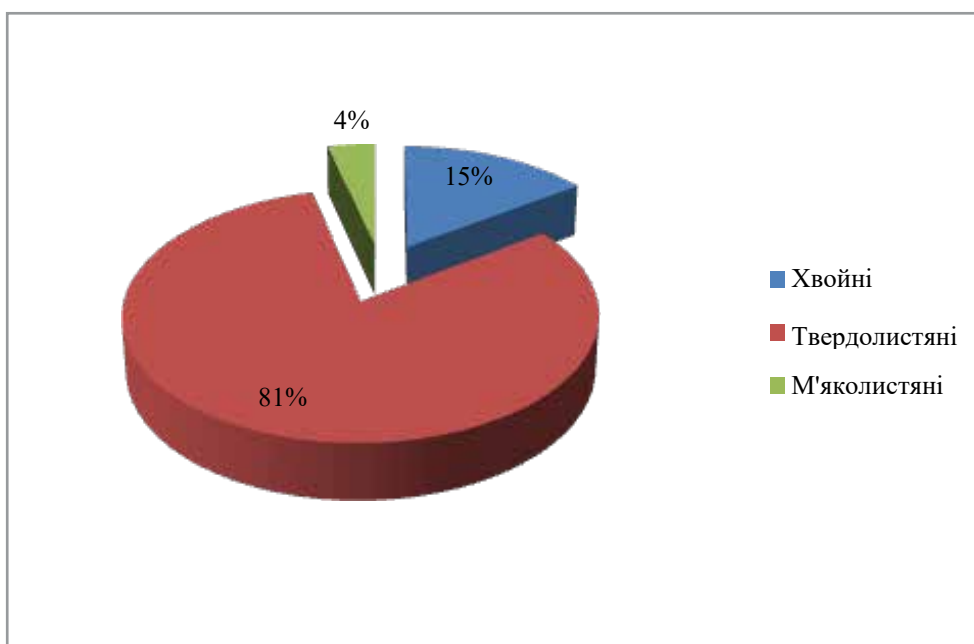


Рис. 3. Структура рубок лісу головного користування в Тернопільській області у 2020 році

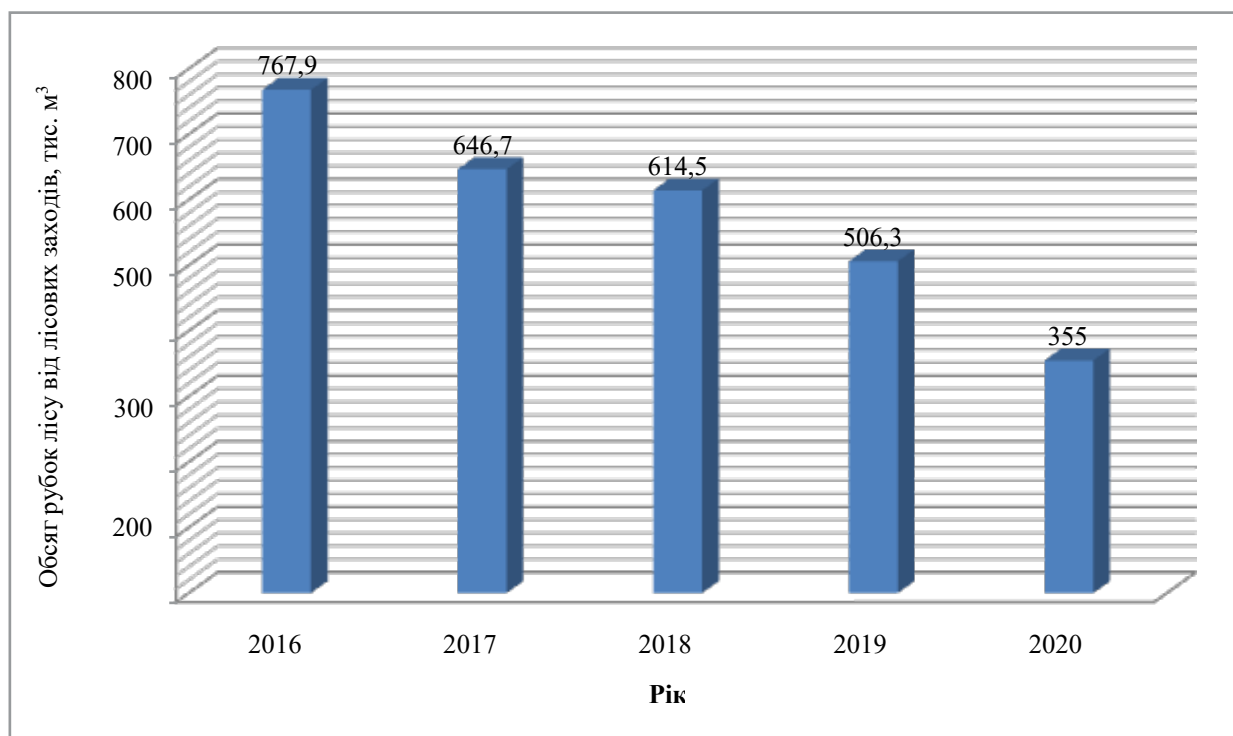
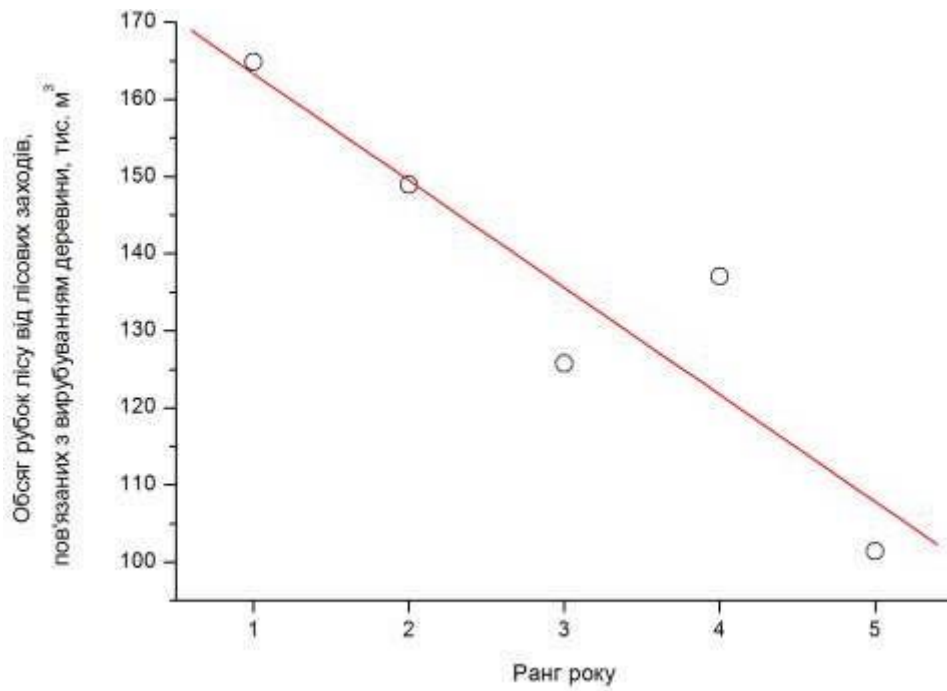


Рис. 4. Динаміка обсягу рубок лісу від лісових заходів, пов'язаних із вирубуванням деревини, у Тернопільській області за 2016–2020 роки

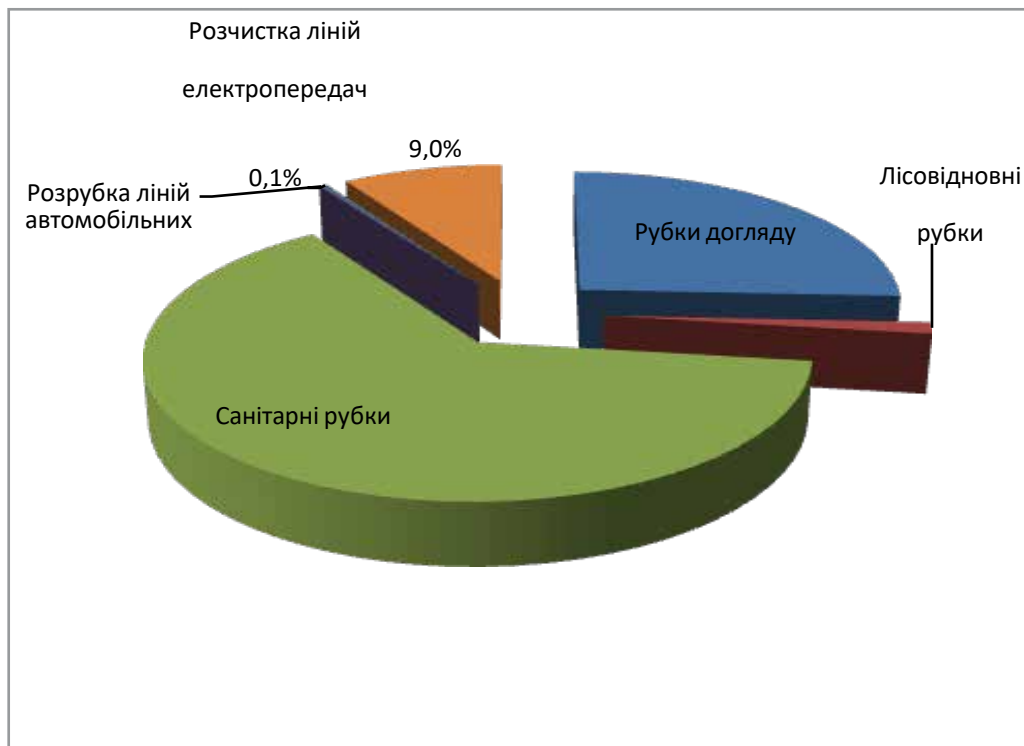
га. За вказаний період часу цей показник зменшився на 412,9 га. У 2019 році основну частку становить посадка лісу (70,1%). Частка інших видів лісовідновлювальних робіт (посіву та природного відновлення лісу) незначна та становить 16,9% і 13,0% відповідно (див. рис. 8).

Має місце чітка тенденція до зменшення площі лісовідновлювальних робіт у Тернопільській області за 2016–2020 роки (див. рис. 9).

Характер функції вказує на можливе подальше зменшення площі лісовідновлювальних робіт у Тернопільській області в найближчі роки.



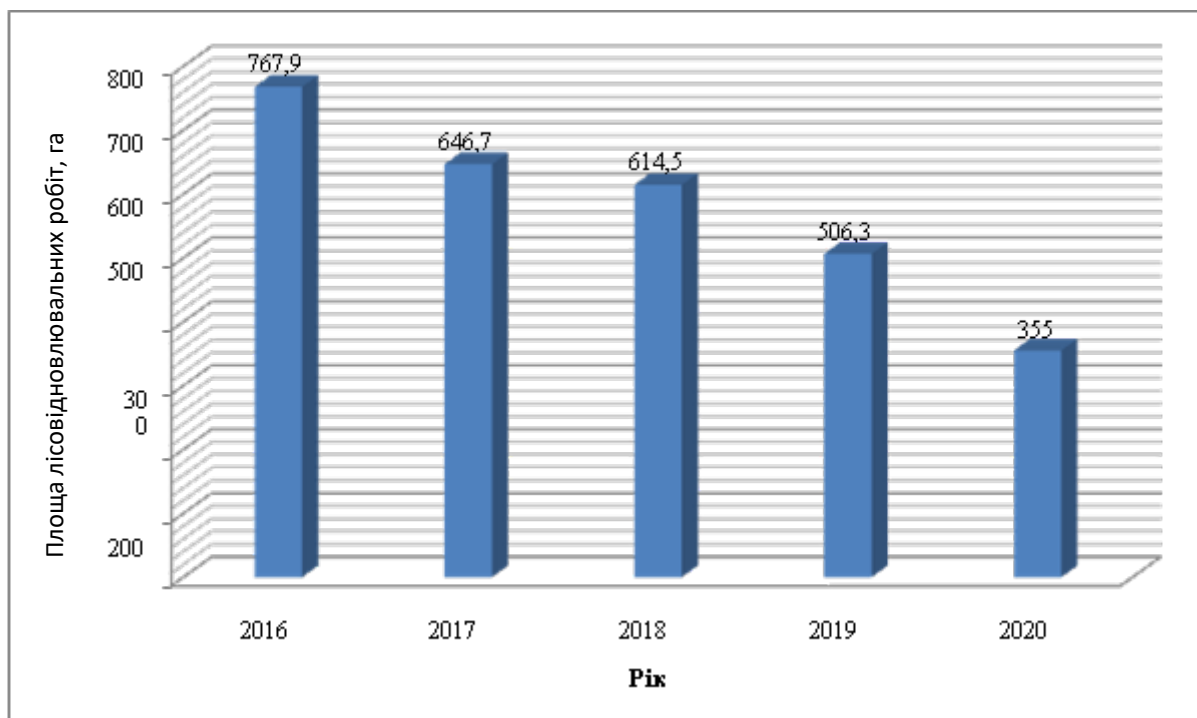
**Рис. 5.** Обсяги рубок лісу від лісових заходів, пов'язаних із вирубуванням деревини, у Тернопільській області за 2016–2020 роки (тенденція)



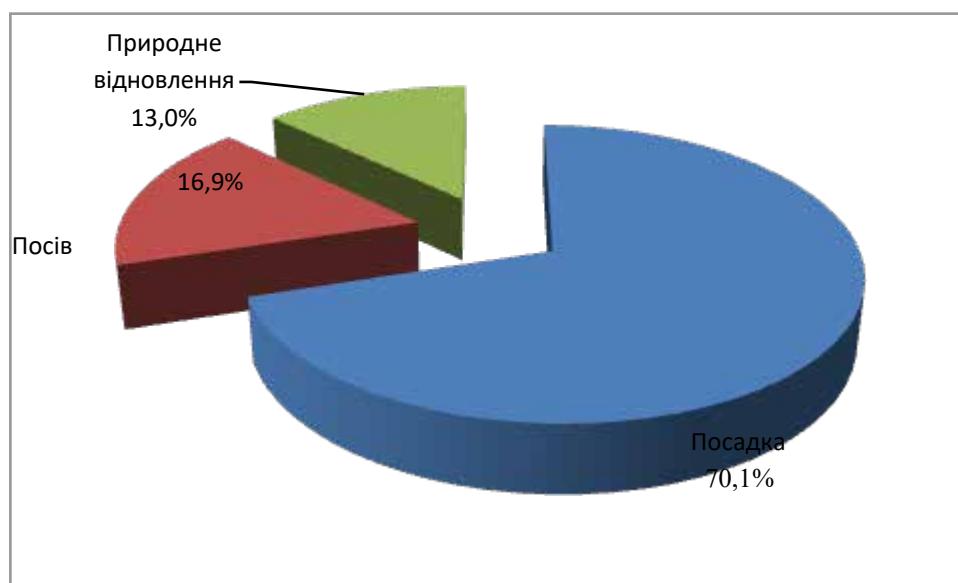
**Рис. 6.** Структура рубок лісу головного користування в Тернопільській області у 2020 році

Динаміка площі лісорозведення в Тернопільській області за 2016–2020 роки наведена на рисунку 10.

Обсяги площі лісорозведення в Тернопільській області за 2016–2020 роки щорічно збільшувалися в середньому на 66,8%, що становить



**Рис. 7. Динаміка площі лісовідновлювальних робіт у Тернопільській області за 2016–2020 роки**

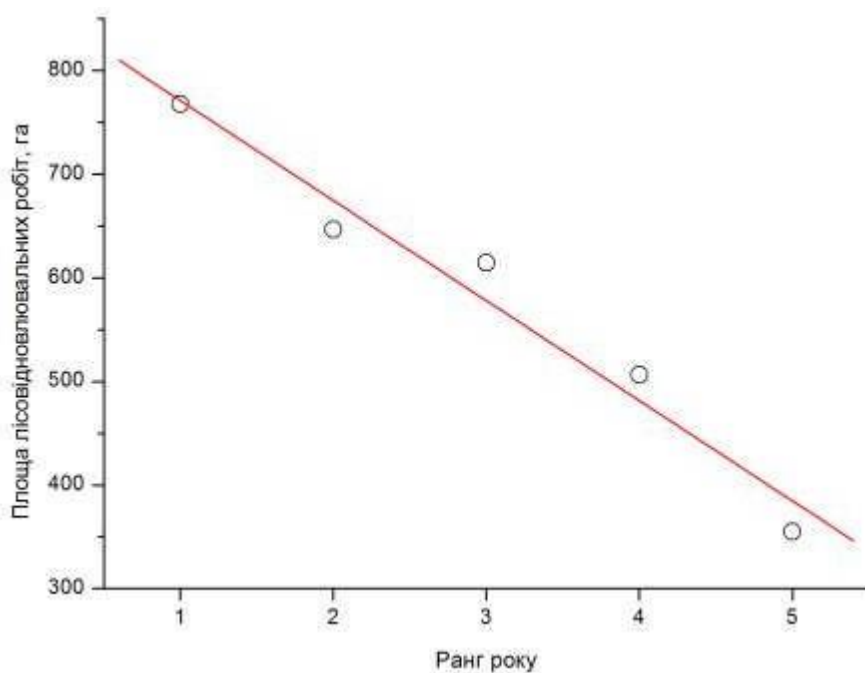


**Рис. 8. Структура площі лісовідновлювальних робіт у Тернопільській області у 2020 році**

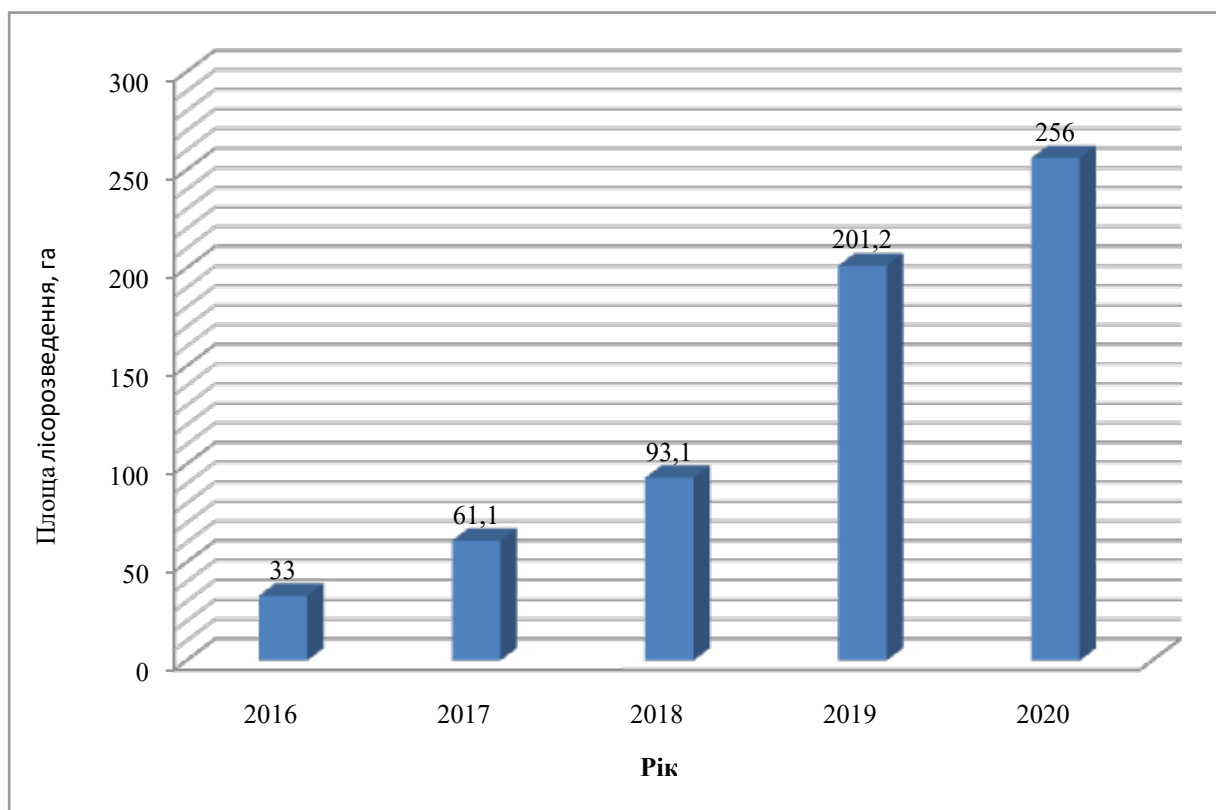
55,75 га. За вказаний період часу цей показник збільшився на 223,0 га. Має місце чітка тенденція до збільшення площі лісорозведення в Тернопільській області (див. рис. 11).

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** На основі проведеного еколого-статистичного дослідження основних аспектів ведення лісового господарства Тернопільської

області впродовж 2016–2020 років виявлено чітку тенденцію до зменшення обсягів рубок та обсягів вирубок лісів від лісової діяльності. Характер функцій дає змогу прогнозувати подальше зменшення цих показників. Така сама тенденція характерна для обсягів площ лісовідновлюваних робіт. Що стосується обсягів площ, відведених для лісорозведення, то



**Рис. 9.** Площа лісовідновлювальних робіт у Тернопільській області за 2016–2020 роки (тенденція)

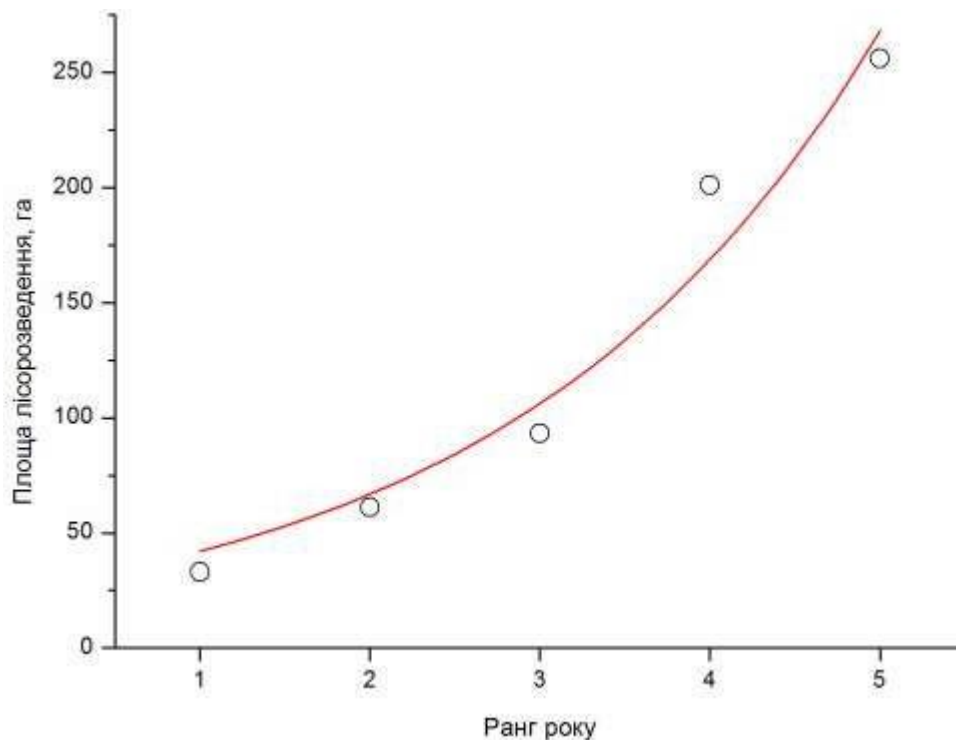


**Рис. 10.** Динаміка площі лісорозведення в Тернопільській області за 2016–2020 роки

для них характерна тенденція до збільшення за весь досліджуваний період. Крім того, з огляду

на характер функції для цього показника прогнозуємо його подальше зростання.





**Рис. 11. Площа лісорозведення в Тернопільській області за 2016–2020 роки (тенденція)**

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Замула Х.П. Сучасний стан ведення лісового господарства в Україні. *Агросвіт*. 2013. № 19. С. 54–59.
2. Дребот О.І. Інституціоналізація лісового сектора економіки в контексті сталого розвитку України : монографія. Київ : ДІА, 2012. 336 с.
3. Офіційний сайт Тернопільського обласного управління лісового та мисливського господарства. URL: <https://ternopil.gov.ua/golovna.html/>.
4. Екологічний паспорт Тернопільської області за 2016 рік / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: [https://mepr.gov.ua/files/docs/eco\\_passport/2016.pdf](https://mepr.gov.ua/files/docs/eco_passport/2016.pdf).
5. Екологічний паспорт Тернопільської області за 2017 рік / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: [https://mepr.gov.ua/files/docs/eco\\_passport/2017](https://mepr.gov.ua/files/docs/eco_passport/2017).
6. Екологічний паспорт Тернопільської області за 2018 рік / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: [https://mepr.gov.ua/files/docs/eco\\_passport/2018](https://mepr.gov.ua/files/docs/eco_passport/2018).
7. Екологічний паспорт Тернопільської області за 2019 рік / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: [https://mepr.gov.ua/files/docs/eco\\_passport/2019](https://mepr.gov.ua/files/docs/eco_passport/2019).
8. Екологічний паспорт Тернопільської області за 2020 рік / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: [http://ecoternopil.gov.ua/images/Stan\\_dovkillya/Ekopasport2020.pdf](http://ecoternopil.gov.ua/images/Stan_dovkillya/Ekopasport2020.pdf).
9. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Тернопільській області за 2016 рік / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mepr.gov.ua/files/docs/Reg.report2016.pdf/>.
10. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Тернопільській області за 2017 рік / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mepr.gov.ua/files/docs/Reg.report/2017/2018.pdf/>.
11. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Тернопільській області за 2018 рік / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mepr.gov.ua/files/docs/Reg.report/2018>.
12. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Тернопільській області за 2019 рік / Управління екології та природних ресурсів Тернопільської обласної державної адміністрації. URL: [http://ecoternopil.gov.ua/images/Stan\\_dovkillya/reg\\_dopovid\\_2019.pdf/](http://ecoternopil.gov.ua/images/Stan_dovkillya/reg_dopovid_2019.pdf/).

13. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Тернопільській області за 2020 рік / Управління екології та природних ресурсів Тернопільської обласної державної адміністрації. URL: [http://ecoternopil.gov.ua/images/Stan\\_dovkillya/reg\\_dopovid\\_2020.pdf/](http://ecoternopil.gov.ua/images/Stan_dovkillya/reg_dopovid_2020.pdf/).
14. Офіційний сайт Головного управління статистики у Тернопільській області. URL: <http://www.te.ukrstat.gov.ua/>.
15. Тарасова В.В. Альбом наочних порад з статистичних методів. Житомир : ЖІТИ, 2001. 114 с.
16. Мармоза А.Т. Практикум із статистики. Київ : Кондор, 2005. 510 с.
17. Мармоза А.Т. Практикум з теорії статистики. Київ : Ельга ; Ніка-Центр, 2003. 344 с.
18. Глушков С.В., Сурядний А.С. Microsoft Excel XP. Харків : ФОЛІО, 2006. 509 с.
19. Богданов А.А. Визуализация данных в Microsoft Origin. Москва : Альтекс, 2003. 112 с.

#### REFERENCES:

1. Zamula, K.P. (2013). Suchasnyy stan vedennya lisovoho hospodarstva v Ukraini [The current state of forestry in Ukraine]. *Ahrosvit*, no. 19, pp. 54–59 [in Ukrainian].
2. Drobot, O.I. (2012). Instytutstionalizatsiia lisovoho sektora ekonomiky v konteksti staloho rozvytku Ukrainy: monohrafiia [Institutionalization of the forest sector of the economy in the context of sustainable development of Ukraine: monograph]. Kyiv: DIA [in Ukrainian].
3. Ofitsiynyi sait Ternopil'skoho oblasnoho upravlinnia lisovoho ta mysliv'skoho hospodarstva [Official site of the Ternopil Regional Department of Forestry and Hunting]. Retrieved from: <https://ternopillia.gov.ua/golovna.html/> [in Ukrainian].
4. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine (2016a). Ekolohichniy pasport Ternopil'skoi oblasti za 2016 rik [Ecological passport of Ternopil region for 2016]. Retrieved from: [https://mepr.gov.ua/files/docs/eco\\_passport/2016.pdf](https://mepr.gov.ua/files/docs/eco_passport/2016.pdf) [in Ukrainian].
5. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine (2017a). Ekolohichniy pasport Ternopil'skoi oblasti za 2017 rik [Ecological passport of Ternopil region for 2017]. Retrieved from: [https://mepr.gov.ua/files/docs/eco\\_passport/2017](https://mepr.gov.ua/files/docs/eco_passport/2017) [in Ukrainian].
6. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine (2018a). Ekolohichniy pasport Ternopil'skoi oblasti za 2018 rik [Ecological passport of Ternopil region for 2018]. Retrieved from: [https://mepr.gov.ua/files/docs/eco\\_passport/2018](https://mepr.gov.ua/files/docs/eco_passport/2018) [in Ukrainian].
7. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine (2019). Ekolohichniy pasport Ternopil'skoi oblasti za 2019 rik [Ecological passport of Ternopil region for 2019]. Retrieved from: [https://mepr.gov.ua/files/docs/eco\\_passport/2019](https://mepr.gov.ua/files/docs/eco_passport/2019) [in Ukrainian].
8. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine (2020). Ekolohichniy pasport Ternopil'skoi oblasti za 2020 rik [Ecological passport of Ternopil region for 2020]. Retrieved from: [http://ecoternopil.gov.ua/images/Stan\\_dovkillya/Ekopasport2020.pdf](http://ecoternopil.gov.ua/images/Stan_dovkillya/Ekopasport2020.pdf) [in Ukrainian].
9. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine (2016b). Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha u Ternopil'skii oblasti za 2016 rik [Regional report on the state of the environment in the Ternopil region for 2016]. Retrieved from: <https://mepr.gov.ua/files/docs/Reg.report2016.pdf/> [in Ukrainian].
10. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine (2017b). Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha u Ternopil'skii oblasti za 2017 rik [Regional report on the state of the environment in the Ternopil region for 2017]. Retrieved from: <https://mepr.gov.ua/files/docs/Reg.report/2017.pdf/> [in Ukrainian].
11. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine (2018b). Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha u Ternopil'skii oblasti za 2018 rik [Regional report on the state of the environment in the Ternopil region for 2018]. Retrieved from: <https://mepr.gov.ua/files/docs/Reg.report/2018> [in Ukrainian].
12. Department of Ecology and Natural Resources of Ternopil Regional State Administration (2019). Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha u Ternopil'skii oblasti za 2019 rik [Regional report on the state of the environment in the Ternopil region for 2019]. Retrieved from: [http://ecoternopil.gov.ua/images/Stan\\_dovkillya/reg\\_dopovid\\_2019.pdf/](http://ecoternopil.gov.ua/images/Stan_dovkillya/reg_dopovid_2019.pdf/) [in Ukrainian].
13. Department of Ecology and Natural Resources of Ternopil Regional State Administration (2020). Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha u Ternopil'skii oblasti za 2020 rik [Regional report on the state of the environment in the Ternopil region for 2020]. Retrieved from: [http://ecoternopil.gov.ua/images/Stan\\_dovkillya/reg\\_dopovid\\_2020.pdf/](http://ecoternopil.gov.ua/images/Stan_dovkillya/reg_dopovid_2020.pdf/) [in Ukrainian].
14. Ofitsiynyi sait Holovnoho upravlinnia statystyky u Ternopil'skii oblasti [Official site of the Main Department of Statistics in Ternopil region]. Retrieved from: <http://www.te.ukrstat.gov.ua/> [in Ukrainian].
15. Tarasova, V.V. (2001). Albom naochnykh porad z statystychnykh metodiv [An album of visual tips on statistical methods]. Zhytomyr: ZHITI [in Ukrainian].

16. Marmoza, A.T. (2005). *Praktykum iz statystyky* [Workshop on Statistics]. Kyiv: Kondor [in Ukrainian].
17. Marmoza, A.T. (2003). *Praktykum z teorii statystyky* [Workshop on the theory of statistics]. Kyiv: Elha; Nika-Tsentr [in Ukrainian].
18. Hlushkov, S.V., Suriadnyi, A.S. (2006). *Microsoft Excel XP* [Microsoft Excel XP]. Kharkiv: FOLYO [in Ukrainian].
19. Bogdanov, A.A. (2003). *Vizualizatsiya dannykh v Microcal Origin* [Data visualization in Microcal Origin]. Moscow : Al'teks [in Russian].

УДК 544.236.2

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-4>

**Валентина КОЗАК**

кандидат хімічних наук, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID:** 0000-0002-4069-1008

**Інна ІВАЩЕНКО**

кандидат хімічних наук, професор, професор кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID:** 0000-0001-9724-0737

**Володимир ГАЛЯН**

доктор фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID:** 0000-0003-0066-7174

**Людмила ПІСКАЧ**

кандидат хімічних наук, професор, професор кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID:** 0000-0003-3117-4006

**Іван ОЛЕКСЕЮК**

доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID:** 0000-0001-7206-4351

**Бібліографічний опис статті:** Козак, В., Іващенко, І., Галян, В., Піскач, Л., Олексейук, І. (2022). Склоутворення в системах  $Ga_2S_3 - La_2S_3 - A^IY$  ( $A^I - Cu, Ag; Y - Cl, Br, I$ ) та властивості утворених стекол. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 28–35, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-4>

**СКЛОУТВОРЕННЯ В СИСТЕМАХ  $Ga_2S_3 - La(PR)_2S_3 - A^IY$  ( $A^I - Cu, Ag; Y - Cl, Br, I$ ) ТА ВЛАСТИВОСТІ УТВОРЕНИХ СТЕКОЛ**

На основі результатів рентгенофазового аналізу встановлено межі областей склоутворення у квазіпотрійних системах протяжністю 2 мол.%  $CuI$  (система  $Ga_2S_3 - La_{1,8}Pr_{0,2}S_3 - CuI$ ) та 5 мол.%  $AgBr$  (система  $Ga_2S_3 - La_2S_3 - AgBr$ ) усередину концентраційного трикутника. Максимальна температура синтезу становила 1370 К із подальшим гартуванням ампул у насичений водний розчин натрій хлориду з подрібненим льодом. За результатами ДТА визначені температурні характеристики стекол систем  $Ga_2S_3 - La_{1,8}Pr_{0,2}S_3 - CuI$ ,  $Ga_2S_3 - La_2S_3 - AgCl(Br, I)$ : температури склування, кристалізації, плавлення та константа Гроби.

Досліджені спектри оптичного поглинання стекол складів: 66-х мол.%  $Ga_2S_3 - 30$  мол.%  $La_2S_3 - 4$  мол.%  $AgCl - x$  мол.%  $Er_2S_3$ ,  $x = 0; 1; 3$  мол.%; 67-х мол.%  $Ga_2S_3 - 30$  мол.%  $La_2S_3 - 3$  мол.%  $AgI - x$  мол.%  $Er_2S_3$ ,  $x = 0; 0,75; 1,5$  мол.%, у діапазоні 400–1050 нм. Встановлено, що стекла є прозорими у видимому діапазоні та містять вузькі смуги поглинання в Ербійовмісних зразках. У зразках з  $AgCl$  інтенсивність максимумів поглинання вища, ніж з  $AgI$ , що пов'язано з переходом у збуджений стан більшої кількості іонів Ербію.

**Ключові слова:** квазіпотрійна система, халькогалогеніди, область склоутворення, рентгенофазовий аналіз, диференціально-термічний аналіз, спектри оптичного поглинання стекол.

**Valentyna KOZAK**

PhD in Chemistry, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0002-4069-1008

**Inna IVASHCHENKO**

PhD in Chemistry, Professor, Professor at the Department of Chemistry and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0001-9724-0737

**Volodymyr HALYAN**

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Experimental Physics, Information and Educational Technologies, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0003-0066-7174

**Lyudmyla PISKACH**

PhD in Chemistry, Professor, Professor at the Department of Chemistry and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0003-3117-4006

**Ivan OLEKSEYUK**

Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Department of Chemistry and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0001-7206-4351

**To cite this article:** Kozak, V., Ivashchenko, I., Halyan, V., Piskach, L., Olekseyuk, I. (2022). Skloutvorennia v systemakh  $Ga_2S_3 - La_2S_3 - A^IY$  ( $A^I - Cu, Ag; Y - Cl, Br, I$ ) ta vlastyvoli utvorenykh stekol [Glass formation regions in the systems  $Ga_2S_3 - La_2S_3 - A^IY$  ( $A^I - Cu, Ag; Y - Cl, Br, I$ ) and properties of obtained glasses]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 28–35, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-4>

**GLASS FORMATION REGIONS IN THE SYSTEMS  $Ga_2S_3 - La_2S_3 - A^IY$  ( $A^I - CU, AG; Y - CL, BR, I$ ) AND PROPERTIES OF OBTAINED GLASSES**

Based on the X-ray phase analysis results of samples of quasi-ternary systems  $Ga_2S_3 - La_{1.8}Pr_{0.2}S_3 - CuI$ ,  $Ga_2S_3 - La_2S_3 - AgBr$ , the boundaries of the glass-forming regions with a length of 2 mol.% CuI and 5 mol.% AgBr inside the concentration triangle were established. The maximum temperature of sample synthesis was 1370 K, followed by quenching of the ampoules in saturated aqueous sodium chloride solution with crushed ice. According to the DTA results, the temperature characteristics of the glasses of the  $Ga_2S_3 - La_{1.8}Pr_{0.2}S_3 - CuI$ ,  $Ga_2S_3 - La_2S_3 - AgCl$  (Br,I) systems were determined: glass transition, crystallization, melting and Hruby's constant temperatures.

The optical absorption spectra of glasses with the following compositions were studied: 66-x mol.%  $Ga_2S_3 - 30$  mol.%  $La_2S_3 - 4$  mol.%  $AgCl - x$  mol.%  $Er_2S_3$ ,  $x = 0; 1; 3$  mol.%; 67-x mol.%  $Ga_2S_3 - 30$  mol.%  $La_2S_3 - 3$  mol.%  $AgI - x$  mol.%  $Er_2S_3$ ,  $x = 0; 0,75; 1,5$  mol.%, in region 400–1050 nm. It was established that the glasses are transparent in the visible range and contain narrow absorption bands in Erbium-containing samples. In the AgCl containing samples the intensity of absorption maxima is higher than in samples with AgI, due to the fact that more Erbium ions move to the excited state.

**Key words:** quasi-ternary system, chalcogenides, region of glass formation, X-ray phase analysis, differential thermal analysis, optical absorption spectra of glasses.

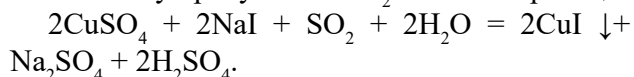
**Вступ.** Халькогалогенідні стекла, які утворюються у процесі взаємодії сполук  $Ga_2S_3$ ,  $La_2S_3$ ,  $Pr_2S_3$ ,  $CuI$ ,  $AgCl$  (Br,I), характеризуються високим коефіцієнтом пропускання інфрачервоного випромінювання, що важливо для їх використання як матеріалів інфрачервоної оптики,

як твердотільних електролітів (через високу іонну провідність іонів  $Ag^+$ ). У разі додавання до них  $Er_2S_3$  змінюються спектри фотолюмінесценції, що вказує на можливість їх використання як фотолюмінесцентних матеріалів (Тищенко, 2019; Ren et al., 2013; Popescu, 2002).

Тому для дослідження були вибрані системи  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}(\text{Pr})_2\text{S}_3 - \text{Ag}(\text{Cu})\text{Br}(\text{I})$ , які раніше не вивчалися. Як відомо, Празеодим, як і Лантан, утворює значну область склування під час взаємодії з  $\text{Ga}_2\text{S}_3$  (Виноградова, 1984), є подібним до Лантану, тому дослідили можливість утворення скла в системі  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_{1,8}\text{Pr}_{0,2}\text{S}_3 - \text{CuI}$ . Крім того, для стекел систем  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}(\text{Pr})_2\text{S}_3 - \text{Ag}(\text{Cu})\text{Br}(\text{I})$  з додаванням  $\text{Er}^{3+}$  необхідно провести подальше вивчення оптичних спектрів поглинання для поглиблення знань щодо впливу галогенідів аргентуму на внутрішньоцентрові переходи Ербію.

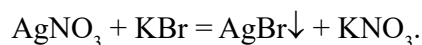
**Експериментальна частина.** Одержання склоподібних зразків систем здійснювали у два етапи. Перший етап – приготування сплаву необхідного складу з простих речовин високого ступеня чистоти ( $\text{Cu} - 99,99$  ваг.%,  $\text{Ga} - 99,99$  ваг.%,  $\text{La} - 99,99$  ваг.%,  $\text{Pr} - 99,99$  ваг.%) і бінарних сполук  $\text{CuI}$  та  $\text{AgBr}$ .

Купрум йодид отримували під час взаємодії  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  з  $\text{NaI}$ , взятими у стехіометричних кількостях у присутності  $\text{SO}_2$ . Рівняння реакції:



Під час взаємодії розчинів утворювався бурий осад, який після пропускання  $\text{SO}_2$  перетворювався на білий осад купрум йодиду. Утворений осад відфільтровували на лійці Бюхнера та промивали великою кількістю води до видалення іонів  $\text{SO}_4^{2-}$  (проба з  $\text{BaCl}_2$ ). Щоб продукт не окислювався, його промивали спочатку етанолом, потім диетиловим етером.

Аргентум бромід отримували під час взаємодії розчинів аргентум нітрату та калій броміду:



Сірку додатково очищували багаторазовою вакуумною перегонкою. Наважки вихідних компонентів зважували з точністю до  $\pm 0,00005$  г на аналітичних терезах ВЛР-200.

Ампули з приготовленими наважками вакуумували до залишкового тиску  $1,33 \times 10^{-2}$  Па та запаювали на газово-кисневому пальнику. Підготовлені ампули із шихтою поміщали в піч «Термодент» із програмованим контролем температури. Згідно з встановленою програмою підвищували температуру в печі до 670 К зі швидкістю 10 К/год з наступним відпадом протягом 48 годин. Далі підвищували температуру до 770 К зі швидкістю 10 К/год, подальший

відпал протягом 48 годин за вказаної температури. Наступне підвищення температури до 1000–1100 К залежно від складів зразків зі швидкістю 10 К/год, витримка 3 год та охолодження сплавів у режимі вимкненої печі. На наступному етапі одержані зразки перетирали в агатовій ступці, загрузали порошок у кварцові ампули зі сферичним дном діаметром 10 мм та перешийкою шириною 3–5 мм. Відкачували контейнери до тиску  $1,33 \times 10^{-2}$  Па та запаювали. Далі зразки нагрівали зі швидкістю 40 К/год до температури 1370 К. За цієї температури витримували 3 год та гартували зразки в насичений водний розчин натрій хлориду з подрібненим льодом. Для запобігання розбризкуванню розплаву у процесі гартування, а також для зменшення втрат на конденсацію парової фази стінками ампул використовували термостатування шнуровим азбестом.

У результаті отримали прозорі зразки від коричнево-червоного до оранжево-червоного кольору. Відтінок забарвлення змінювався залежно від складу зразка. Наприклад, у разі введення Празеодиму були отримані темніші зразки, ніж безпосередньо з Лантаном. Атоми галогенів суттєво не впливали на зміну кольору зразків.

З отриманих сплавів були виготовлені проби та зняті дифрактограми (ДРОН-4-13,  $\text{CuK}\alpha$ -випромінювання, крок сканування –  $0,05^\circ$ , час експозиції – 2 с). Також для стекел систем  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_{1,8}\text{Pr}_{0,2}\text{S}_3 - \text{CuI}$ ,  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_2\text{S}_3 - \text{AgCl}(\text{Br}, \text{I})$  був проведений диференційно-термічний аналіз (на установці «Термодент Н307/1» з двокоординатним самописцем ПДА-1).

Дослідження спектрів оптичного поглинання проводилося на базі монохроматора МДР-206 за кімнатної температури. Зразки вирізалися у вигляді плоскопаралельних пластин товщиною 1,5 мм, після чого стекла полірувалися алмазною пастою із зернистістю  $\sim 1$  мкм. У спектральному діапазоні 500–1000 нм використовувалися кремнієві фотоприймачі, у діапазоні 1000–2000 нм – приймачі на основі  $\text{PbS}$ .

### Результати та їх обговорення

#### 1. Склоутворення в системі $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_{1,8}\text{Pr}_{0,2}\text{S}_3 - \text{CuI}$

Результати РФА з отриманих зразків показали відсутність кристалічних фаз, про що свідчить відсутність піків на дифрактограмах (див. рис. 1).

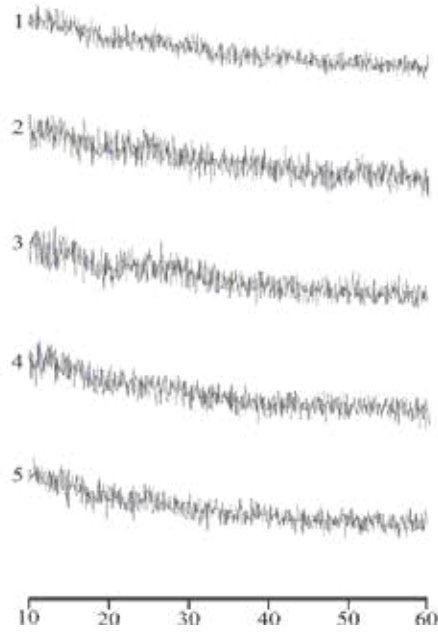


Рис. 1. Дифрактограми стекел системи  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_{1.8}\text{Pr}_{0.2}\text{S}_3 - \text{CuI}$ :

- 1) 74 мол.%  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - 26$  мол.%  $\text{La}_{1.8}\text{Pr}_{0.2}\text{S}_3$ ;
- 2) 68 мол.%  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - 30$  мол.%  $\text{La}_{1.8}\text{Pr}_{0.2}\text{S}_3 - 2$  мол.%  $\text{CuI}$ ;
- 3) 64 мол.%  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - 34$  мол.%  $\text{La}_{1.8}\text{Pr}_{0.2}\text{S}_3 - 2$  мол.%  $\text{CuI}$ ;
- 4) 61 мол.%  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - 37$  мол.%  $\text{La}_{1.8}\text{Pr}_{0.2}\text{S}_3 - 2$  мол.%  $\text{CuI}$ ;
- 5) 57 мол.%  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - 41$  мол.%  $\text{La}_{1.8}\text{Pr}_{0.2}\text{S}_3 - 2$  мол.%  $\text{CuI}$

За результатами РФА була встановлена область склоутворення, яка перебуває в межах 50–75 мол.% у системі  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_{1.8}\text{Pr}_{0.2}\text{S}_3$  та простягається до 2 мол.%  $\text{CuI}$  всередину концентраційного трикутника (див. рис. 2).

Вигляд термограм для стекел системи  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_{1.8}\text{Pr}_{0.2}\text{S}_3 - \text{CuI}$  є характерним для склоподібних зразків (див. рис. 3). Були зафіксовані температури склування ( $T_g$ ), кристалізації ( $T_c$ ), плавлення ( $T_m$ ) та обчислені  $T_{gr} = T_g/T_m$

і константа Грубі  $K_G = (T_c - T_g)/(T_m - T_c)$  (див. табл. 1).

Зразки стекел системи  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_{1.8}\text{Pr}_{0.2}\text{S}_3 - \text{CuI}$  мають невелику склоутворюючу здатність через невисоке значення константи Грубі та невелику різницю між температурами кристалізації і склування порівняно із системами, до складу яких входять такі сильні склоутворювачі, як  $\text{GeSe}_2$ ,  $\text{GeSe}_2$ . Тому нові склоподібні матеріали мають невисокі технологічні характеристики, проте можуть володіти цікавими напівпровідниковими властивостями, що вимагає подальшого їх дослідження.

## 2. Склоутворення в системі $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_2\text{S}_3 - \text{AgBr}$ та термічні характеристики стекел $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_2\text{S}_3 - \text{AgCl}(\text{Br, I})$

За результатами РФА встановлена область склоутворення в системі  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_2\text{S}_3 - \text{AgBr}$  (див. рис. 4), яка перебуває в концентраційних межах 50–75 мол.%  $\text{Ga}_2\text{S}_3$  по перерізу  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_2\text{S}_3$  та простягається всередину концентраційного трикутника до 5 мол.%  $\text{AgBr}$ .

Для стекел систем  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_2\text{S}_3 - \text{AgCl}(\text{Br, I})$  були виміряні температури склування ( $T_g$ ), кристалізації ( $T_c$ ), плавлення ( $T_m$ ) та обчислені  $T_{gr} = T_g/T_m$  і константа Грубі  $K_G = (T_c - T_g)/(T_m - T_c)$  (див. табл. 2–4). Стекла систем  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_2\text{S}_3 - \text{AgCl}(\text{I})$  були отримані в дисертаційній роботі П.В. Тищенка (Тищенко, 2019).

Зразки стекел системи  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_2\text{S}_3 - \text{AgBr}$  мають більшу склоутворюючу здатність порівняно зі стеклами системи  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_{1.8}\text{Pr}_{0.2}\text{S}_3 - \text{CuI}$ .

## 3. Оптичні властивості стекел систем $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_2\text{S}_3 - \text{AgCl}(\text{I})$

За кімнатної температури досліджено спектри оптичного поглинання стекел системи  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_2\text{S}_3 - \text{AgCl}(\text{I})$  в діапазоні 400–1050 нм (див. рис. 5, 6).

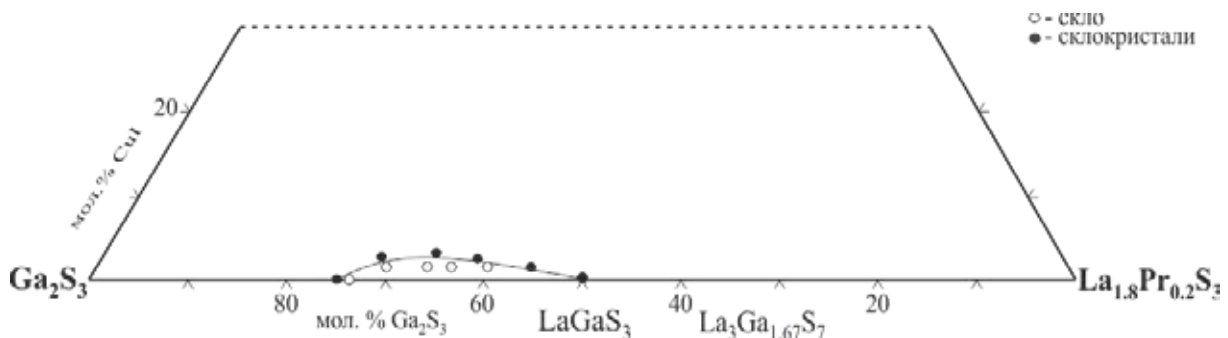


Рис. 2. Область склоутворення в системі  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_{1.8}\text{Pr}_{0.2}\text{S}_3 - \text{CuI}$

Вони показують, що стекла є прозорими у видимому діапазоні та містять вузькі смуги поглинання у зразках, легованих Ербієм. Збільшення вмісту Ербію приводить до зростання максимумів поглинання, які пов'язані з переходами з основного у збуджені стани ( $^4F_{7/2}$ ,  $^2H_{11/2}$ ,  $^4S_{3/2}$ ,  $^4F_{9/2}$ ,  $^4I_{9/2}$ ,  $^4I_{11/2}$ ) у f-оболонці  $Er^{3+}$  іонів. Крім

того, у зразках, у яких введено  $AgCl$ , інтенсивність максимумів поглинання вища, ніж у тих, що містять  $AgI$ . Це зумовлено тим, що більша кількість іонів Ербію перейшла у збуджений стан, оскільки в них введено вищу концентрацію  $Er_2S_3$ . За збільшення вмісту цієї компоненти для обох систем дещо зростає коефіцієнт поглинання.

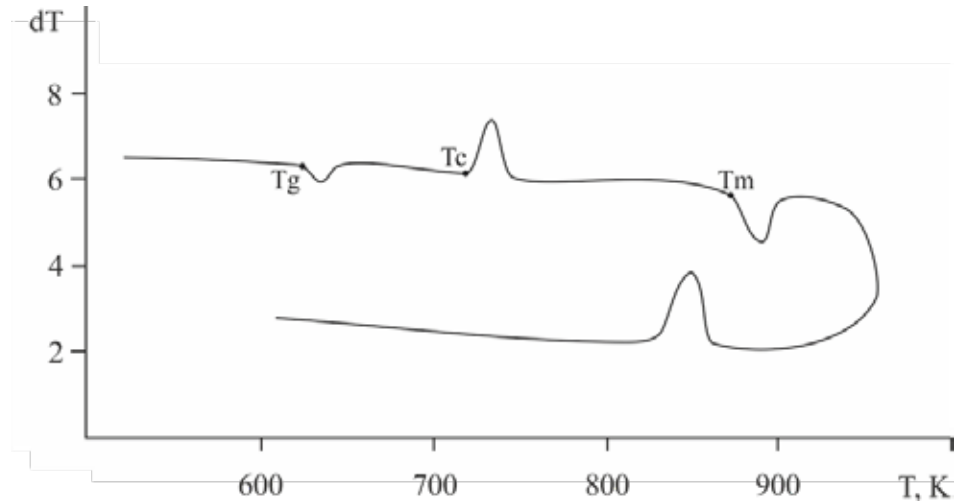


Рис. 3. Термограма склоподібного зразка складу 74 мол.%  $Ga_2S_3$  – 26 мол.%  $La_{1,8}Pr_{0,2}S_3$

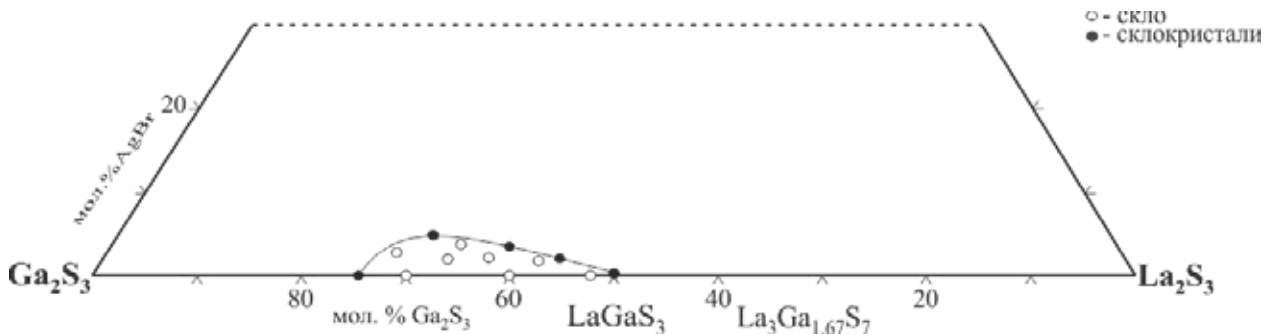


Рис. 4. Область склоутворення в системі  $Ga_2S_3 - La_2S_3 - AgBr$

Таблиця 1

Характеристичні температури склоподібних зразків системи  $Ga_2S_3 - La_{1,8}Pr_{0,2}S_3 - CuI$

Склад сплаву, мол.%	$La_{1,8}Pr_{0,2}S_3$	26	30	34	37	41
	$Ga_2S_3$	74	68	64	61	57
	CuI	—	2	2	2	2
$T_g, K$		570	554	540	580	550
$T_c, K$		622	616	580	620	650
$T_m, K$		870	860	824	862	894
$T_{gr}, K$		0,655	0,644	0,655	0,672	0,615
$T_m - T_c, K$		248	254	244	242	244
$T_c - T_g, K$		52	52	40	40	100
$K_G$		0,209	0,205	0,164	0,165	0,409



Отже, у разі додавання AgCl(I) збільшується прозорість стекол у видимому та близькому інфрачервоному діапазоні. Це важливо для застосування халькогалогенідних стекол як матеріалів для активних і пасивних середовищ лазерної техніки, оптичних підсилювачів, оптоволоконних мереж тощо.

У спільній роботі низки авторів (Kityk et al., 2018) досліджено спектри поглинання стекол системи  $Ga_2S_3 - La_2S_3 - Er_2S_3$ . Порівнюючи їх із дослідженнями, проведеними в цій роботі,

можемо зауважити, що коефіцієнт оптичного поглинання менший у стеклах, що містять галогенідну компоненту.

**Висновки.** Методом РФА вперше встановлена область склоутворення в системі  $Ga_2S_3 - La_{1,8}Pr_{0,2}S_3 - CuI$  протяжністю всередину концентраційного трикутника 2 мол.% CuI та в системі  $Ga_2S_3 - La_2S_3 - AgBr$  протяжністю всередину концентраційного трикутника 5 мол.% AgBr. За результатами ДТА визначені температурні характеристики стекол  $Ga_2S_3 - La_{1,8}Pr_{0,2}S_3 - CuI$ ,

Таблиця 2

**Характеристичні температури склоподібних зразків системи  $Ga_2S_3 - La_2S_3 - AgCl$**

Склад сплаву, мол.%	$La_2S_3$	30	30	30	30
	$Ga_2S_3$	67	66	65	64
	AgCl	3	4	5	6
T <sub>g</sub> , K		644	680	640	640
T <sub>c</sub> , K		654	716	654	664
T <sub>m</sub> , K		860	844	862	850
T <sub>gr</sub> , K		0,49	0,806	0,742	0,753
T <sub>m</sub> -T <sub>c</sub> , K		206	128	208	186
T <sub>c</sub> -T <sub>g</sub> , K		10	36	14	24
K <sub>G</sub>		0,049	0,218	0,067	0,129

Таблиця 3

**Характеристичні температури склоподібних зразків системи  $Ga_2S_3 - La_2S_3 - AgBr$**

Склад сплаву, мол.%	$La_2S_3$	42	34	31	26
	$Ga_2S_3$	56	63	63	70
	AgBr	2	3	6	4
T <sub>g</sub> , K		622	606	589	600
T <sub>c</sub> , K		672	661	650	650
T <sub>m</sub> , K		852	855	850	865
T <sub>gr</sub> , K		0,655	0,644	0,655	0,672
T <sub>m</sub> -T <sub>c</sub> , K		180	194	200	215
T <sub>c</sub> -T <sub>g</sub> , K		50	55	61	50
K <sub>G</sub>		0,278	0,284	0,305	0,233

Таблиця 4

**Характеристичні температури склоподібних зразків системи  $Ga_2S_3 - La_2S_3 - AgI$**

Склад сплаву, мол.%	$La_2S_3$	30	30	30	30
	$Ga_2S_3$	67	66	65	64
	AgI	3	4	5	6
T <sub>g</sub> , K		606	636	606	680
T <sub>c</sub> , K		654	668	646	700
T <sub>m</sub> , K		866	906	830	844
T <sub>gr</sub> , K		0,699	0,702	0,730	0,829
T <sub>m</sub> -T <sub>c</sub> , K		202	238	184	144
T <sub>c</sub> -T <sub>g</sub> , K		58	32	40	20
K <sub>G</sub>		0,287	0,134	0,217	0,139

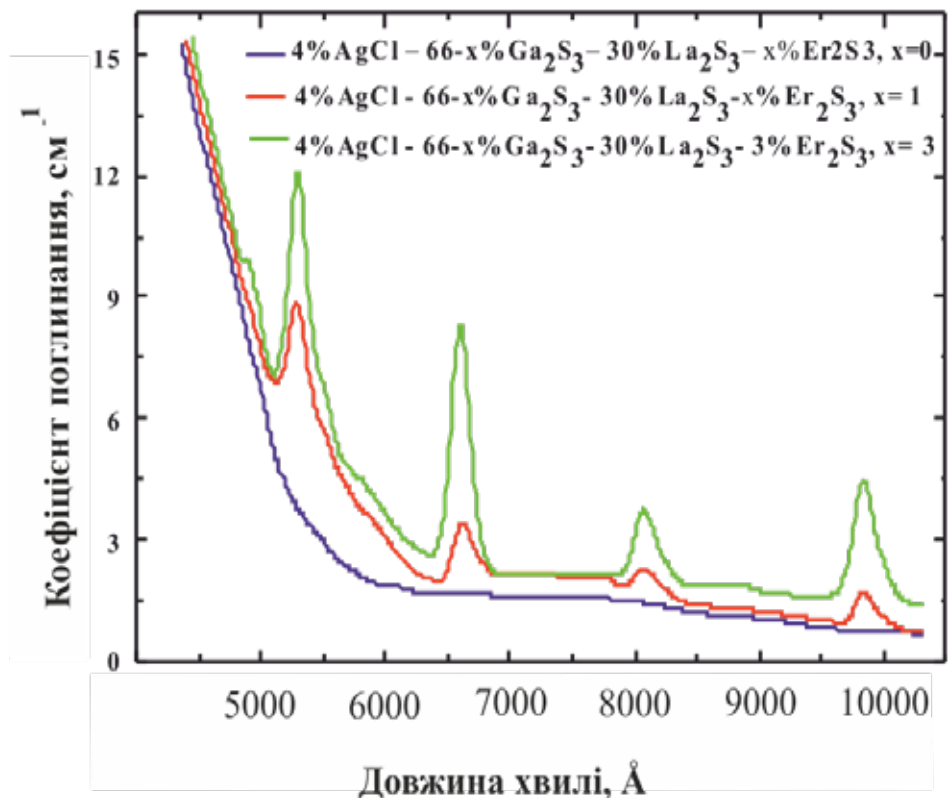


Рис. 5. Спектри поглинання стекол  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_2\text{S}_3 - \text{Er}_2\text{S}_3 - \text{AgCl}$

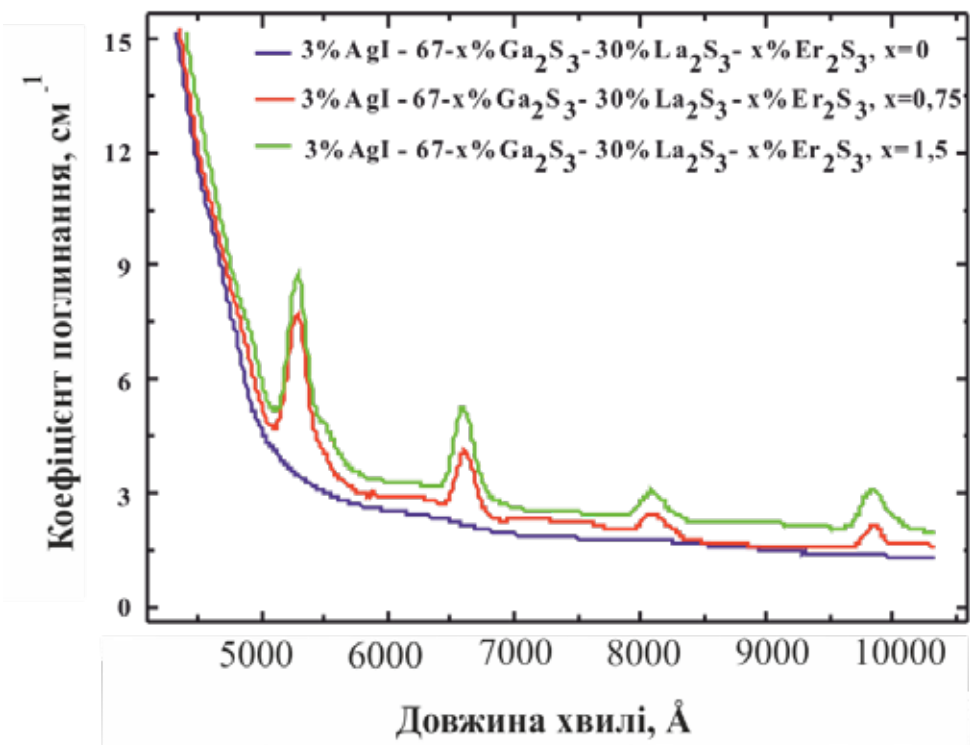


Рис. 6. Спектри поглинання стекол  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_2\text{S}_3 - \text{Er}_2\text{S}_3 - \text{AgI}$

$\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_2\text{S}_3 - \text{AgCl}(\text{Br}, \text{I})$ , зокрема константа Грубі  $K_G$ , що знижує своє значення в разі додавання галогенідів до стекол  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_2\text{S}_3$ .

Уперше досліджені спектри оптичного поглинання стекол складів: 66-х мол.%  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - 30$  мол.%  $\text{La}_2\text{S}_3 - 4$  мол.%  $\text{AgCl} - x$  мол.%  $\text{Er}_2\text{S}_3$ ,  $x = 0; 1; 3$  мол.%; 67-х мол.%  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - 30$  мол.%  $\text{La}_2\text{S}_3 - 3$  мол.%  $\text{AgI} - x$  мол.%  $\text{Er}_2\text{S}_3$ ,  $x = 0; 0,75; 1,5$  мол.%, у діапазоні 400–1050 нм. Встанов-

лено, що стекла є прозорими у видимому діапазоні та містять вузькі смуги поглинання в Ербійвмісних зразках. У зразках з  $\text{AgCl}$  інтенсивність максимумів поглинання вища, ніж з  $\text{AgI}$ , що пов'язано з переходом у збуджений стан більшої кількості іонів Ербію. Отже, досліджені халькогенгалогенідні стекла можна рекомендувати як матеріали для активних і пасивних середовищ лазерної техніки.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Тищенко П.В. Фазові рівноваги квазіпотрійних систем на основі сполук  $\text{A}^1\text{X}$ ,  $\text{B}^{\text{III}}\text{X}_3$ ,  $\text{R}_2\text{X}_3$ ,  $\text{A}^1\text{Y}$  ( $\text{A}^1 - \text{Cu}, \text{Ag}$ ;  $\text{B}^{\text{III}} - \text{Ga}, \text{In}$ ;  $\text{R} - \text{La}, \text{Er}$ ;  $\text{X} - \text{S}, \text{Se}$ ;  $\text{Y} - \text{Cl}, \text{I}$ ) та властивості проміжних фаз і стекол : дис. ... канд. хім. наук : 02.00.01. Ужгород, 2019. 154 с.
2. Conductivity study on  $\text{GeS}_2 - \text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{AgI} - \text{Ag}$  chalcogenide glasses / J. Ren, Q. Yan, T. Wagner, V. Zima, M. Frumar, B. Frumarova, G. Chen. *J. Appl. Phys.* 2013. Vol. 114. Iss. 2. P. 023701. DOI: 10.1063/1.4813139.
3. Popescu M.A. Non-crystalline chalcogenides. New York : Kluwer Academic Publishers, 2002. 384 p.
4. Виноградова Г.З. Стеклообразование и фазовые равновесия в халькогенидных системах. Москва : Наука, 1984. 172 с.
5. NIR and visible luminescence features of erbium doped  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_2\text{S}_3$  glasses / I.V. Kityk, V.V. Halyan, V.O. Yukhymchuk, V.V. Strelchuk, I.A. Ivashchenko, Ya. Zhydachevskii, A. Suchocki, I.D. Olekseyuk, A.G. Kevshyn, M. Piasecki. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2018. Vol. 498. P. 380–385.

#### REFERENCES:

1. Tyshchenko, P.V. (2019). Fazovi rivnovahy kvazipotriinykh system na osnovi spolk  $\text{A}^1\text{X}$ ,  $\text{B}^{\text{III}}\text{X}_3$ ,  $\text{R}_2\text{X}_3$ ,  $\text{A}^1\text{Y}$  ( $\text{A}^1 - \text{Cu}, \text{Ag}$ ;  $\text{B}^{\text{III}} - \text{Ga}, \text{In}$ ;  $\text{R} - \text{La}, \text{Er}$ ;  $\text{X} - \text{S}, \text{Se}$ ;  $\text{Y} - \text{Cl}, \text{I}$ ) ta vlastyvoli promizhnykh faz i stekol [Phase equilibria of quasi-ternary systems based on compounds  $\text{A}^1\text{X}$ ,  $\text{B}^{\text{III}}\text{X}_3$ ,  $\text{R}_2\text{X}_3$ ,  $\text{A}^1\text{Y}$  ( $\text{A}^1 - \text{Cu}, \text{Ag}$ ;  $\text{B}^{\text{III}} - \text{Ga}, \text{In}$ ;  $\text{R} - \text{La}, \text{Er}$ ;  $\text{X} - \text{S}, \text{Se}$ ;  $\text{Y} - \text{Cl}, \text{I}$ ) and properties of intermediate phases and glasses]. *Candidate's thesis*. Uzhhorod [in Ukrainian].
2. Ren, J., Yan, Q., Wagner, T., Zima, V., Frumar, M., Frumarova, B., Chen, G. (2013). Conductivity study on  $\text{GeS}_2 - \text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{AgI} - \text{Ag}$  chalcogenide glasses. *J. Appl. Phys.*, vol. 114, iss. 2, p. 023701. DOI: 10.1063/1.4813139 [in English].
3. Popescu, M.A. (2002). Non-crystalline chalcogenides. New York: Kluwer Academic Publishers [in English].
4. Vynogradova, H.Z. (1984). Stekloobrazovanye y fazovye ravnovesya v khalkohenydnykh systemakh [Glass formation and phase equilibria in chalcogenide systems]. Moscow: Nauka [in Russian].
5. Kityk, I.V., Halyan, V.V., Yuhymchuk, V.O., Strelchuk, V.V., Ivashchenko, I.A., Zhydachevskii, Ya., Suchocki, A., Olekseyuk, I.D., Kevshyn, A.G., Piasecki, M. (2018). NIR and visible luminescence features of erbium doped  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{La}_2\text{S}_3$  glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 498, pp. 380–385 [in English].

УДК 543.5

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-5>

**Жолт КОРМОШ**

кандидат хімічних наук, професор, професор кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID:** 0000-0001-6018-8787

**Scopus Author ID:** 35580134800

**Людмила САВЧУК**

кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID:** 0000-0002-8854-6600

**Наталія КОРМОШ**

спеціаліст вищої категорії, викладач-методист, голова циклової комісії санітарно-гігієнічних дисциплін, Волинський медичний інститут, бул. Лесі Українки, 2, м. Луцьк, Україна, 43000

**ORCID:** 0000-0002-4272-888X

**Микола ШЕВЧУК**

кандидат хімічних наук, доцент кафедри матеріалознавства, Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, м. Луцьк, Україна, 43018

**ORCID:** 0000-0002-6602-2929

**Катерина ЛЮШУК**

кандидат педагогічних наук, викладач-методист вищої категорії, голова циклової комісії хімічних і фармацевтичних дисциплін, Волинський медичний інститут, бул. Лесі Українки, 2, м. Луцьк, Україна, 43000

**ORCID:** 0000-0003-2189-0332

**Тетяна САВЧУК**

кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID:** 0000-0001-9416-0643

**Світлана КОРОЛЬЧУК**

кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID:** 0000-0002-5830-3966

**Бібліографічний опис статті:** Кормош, Ж., Савчук, Л., Кормош, Н., Шевчук, М., Люшук, К., Савчук, Т., Корольчук, С. (2022). Метформін-чутливий потенціометричний сенсор. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 36–44, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-5>

## МЕТФОРМІН-ЧУТЛИВИЙ ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИЙ СЕНСОР

Метформін (*N,N*-диметилбігуанідин) у його протонованій формі як метформіну гідрохлорид використовується в усьому світі як передовий протидіабетичний препарат для діабету другого типу. Гіперінсулінемія та інсулінорезистентність клітин є основними причинами цього захворювання. Для пацієнтів із цукровим діабетом метформіну гідрохлорид (далі – МЕТ) діє, покращуючи чутливість клітин до інсуліну.

Показано, що метформін із тропеоліном 00 (Т00) утворює іонний асоціат, який можна виділити у твердому вигляді, що придатний для створення пластифікованих мембранних потенціометричних метформін-чутливих сенсорів.

Методом математичного моделювання обґрунтовано енергоефективність формування іонного асоціату. Молекулярне моделювання систем « $T00 + MET^+$ » та пов'язані з ним розрахунки проводили з використанням пакета «HyperChem 8.0» для різноманітних вихідних варіантів розташування протіонів один щодо одного (процедура «single point»). Геометричну оптимізацію іонів проводили методом молекулярної механіки ММ<sup>+</sup>. Стандартну ентальпію ( $\Delta H_f$ ) утворення іонів та асоціату « $MET^+ + T00$ » визначали напівемпіричним методом РМЗ. Різниця в енергії утворення іонного асоціату та сумі енергій утворення його компонентів дорівнює 312 кДж/моль. Отже, процес утворення іонного асоціату є термодинамічно вигідним.

Здійснено моделювання та оптимізацію складу мембран. Результати дослідження впливу природи пластифікаторів на електроаналітичні властивості розроблених сенсорів свідчать про те, що найкращим пластифікатором для системи є ТКФ або ДНФ. Для цих розчинників добуток величини діелектричної проникності та полярності Роршайндера ( $\epsilon \times PP$ ) становлять 123,5 та 175 відповідно. Для пластифікаторів, які виявилися менш ефективними (ДБФ і ДЕФ), ці величини становлять 235,6 та 326 відповідно. Для мембран з однаковим вмістом пластифікатора одного гомологічного ряду (ДЕФ, ДБФ, ДОФ, ДНФ) нахил Нернстівської функції зменшується зі зростанням діелектричної проникності розчинника-пластифікатора. Показано, що робочий інтервал рН електрода – від 2 до 11. Дрейф потенціалу не перевищує 1–3 мВ/добу. Стабільні значення електродних потенціалів встановлюються за 5–15 с. Стабільність електроаналітичних характеристик оптимізованих мембран спостерігається не менше трьох місяців. Розроблені сенсори проявляють задовільну селективність щодо цілої низки речовин та іонів. Визначенню MET не заважають 300- та 1000-кратні кількості глюкози, крохмалю, полівінілового спирту, іонів  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$ . Це своєю чергою дає можливість практичного використання розроблених MET-чутливих сенсорів у різноманітних об'єктах.

Розроблено методику потенціометричного визначення метформіну, яка апробована у процесі його визначення в лікарських формах.

**Ключові слова:** метформін, тропеолін 00, іонний асоціат, потенціометричний сенсор.

### **Zholt KORMOSH**

PhD, Professor, Professor at the Department of Chemistry and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

**ORCID:** 0000-0001-6018-8787

**Scopus Author ID:** 35580134800

### **Liudmyla SAVCHUK**

PhD, Associate Professor at the Department of Ecology and Environmental Protection, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

**ORCID:** 0000-0002-8854-6600

### **Nataliia KORMOSH**

Specialist of the highest category, Teacher-methodologist, Chairman of the Cycle Commission of Sanitary and Hygienic Disciplines, Volyn Medical Institute, 2 Lesya Ukrainka blvd., Lutsk, Ukraine, 43000

**ORCID:** 0000-0002-4272-888X

### **Mykola SHEVCHUK**

PhD, Associate Professor at the Department of Materials Science, Lutsk National Technical University, 75 Lvivskaia str., Lutsk, Ukraine, 43018

**ORCID:** 0000-0002-6602-2929

### **Kateryna LIUSHUK**

PhD, Teacher-methodologist of the highest category, Chairman of the Cycle Commission of Chemical and Pharmaceutical Disciplines, Volyn Medical Institute, 2 Lesya Ukrainka blvd., Lutsk, Ukraine, 43000

**ORCID:** 0000-0003-2189-0332

### **Tetiana SAVCHUK**

PhD, Associate Professor at the Department of Chemistry and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

**ORCID:** 0000-0001-9416-0643

**Svitlana KOROLCHUK**

PhD, Associate Professor at the Department of Chemistry and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0002-5830-3966

**To cite this article:** Kormosh, Zh., Savchuk, L., Kormosh, N., Shevchuk, M., Liushuk, K., Savchuk, T., Korolchuk, S. (2022). Metformin-chutlyvyi potentsiometrychnyi sensor [Metformin-sensitive potentiometric sensor]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 36–44, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-5>

## METFORMIN-SENSITIVE POTENTIOMETRIC SENSOR

*Metformin (N,N-dimethylbiguanidine) in its protonated form as metformin hydrochloride is used worldwide as an advanced antidiabetic drug for type 2 diabetes. Hyperinsulinemia and insulin resistance of cells are the main causes of this disease. For patients with diabetes, metformin hydrochloride (hereinafter – MET) works by improving cell sensitivity to insulin.*

*It has been shown that metformin with tropeolin 00 (T00) forms an ionic associate that can be isolated in solid form and is suitable for the creation of plasticized membrane potentiometric metformin-sensitive sensors.*

*The energy efficiency of ionic associate formation is substantiated by the method of mathematical modeling. Molecular modeling of  $T00^+ + MET^+$  systems and related calculations were performed using the HyperChem 8.0 package for various initial variants of counter ion relative to each other (single point procedure). Geometric optimization of ions was performed by the method of molecular mechanics MM+. The standard enthalpy ( $\Delta H_f^\circ$ ) of ion formation and the association “ $MET^+ + T00^+$ ” was determined by the semi-empirical method PM3. The difference in the energy of formation of the ionic associate and the sum of the energies of formation of its components is 312 kJ/mol. Therefore, the process of ionic associate formation is thermodynamically advantageous.*

*Modeling and optimization of membrane composition is carried out. The results of the study of the influence of the nature of plasticizers on the electroanalytical properties of the developed sensors indicate that the best plasticizer for the system is TCP or DNF. For these solvents, the product of the dielectric constant and Rorschneider polarity ( $\epsilon \times PR$ ) is 123,5 and 175 respectively. For plasticizers that were less effective (DBF and DEF), these values are 235,6 and 326 respectively. For membranes with the same content of plasticizer of one homologous series (DEF, DBF, DOF, DNF), the slope of the Nernst function decreases with increasing dielectric constant of the plasticizer solvent. It is shown that the working pH range of the electrode is from 2 to 11. The drift potential does not exceed 1–3 mV/day. Stable values of electrode potentials are set for 5–15 s. The stability of the electroanalytical characteristics of the optimized membranes can be traced for at least three months. The developed sensors show satisfactory selectivity in relation to a number of substances and ions. The 300 and 1000 times the amount of glucose, starch, polyvinyl alcohol,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$  ions do not interfere with MET determination. This, in turn, allows the practical use of developed MET-sensitive sensors in a variety of objects.*

*A method of potentiometric determination of metformin has been developed, which has been tested in its determination in dosage forms.*

**Key words:** metformin, tropeolin 00, ionic associate, potentiometric sensor.

**Вступ.** Метформін (N,N-диметилбігуанідин) у його протонованій формі як метформіну гідрохлорид використовується в усьому світі як передовий протидіабетичний препарат для діабету другого типу (García-Sánchez, Lobaton-Ginsberg, Ferreira-Hermosillo, 2022; Mondal, et al., 2018; Diabetes Prevention Program Research Group, 2002; DeVries et al., 2012). Гіперінсулінемія та інсулінорезистентність клітин є основними причинами цього захворювання. Для пацієнтів із цукровим діабетом метформіну гідрохлорид (далі – MET) діє, покращуючи чутливість клітин до інсуліну. У результаті клітинні рецептори можуть розпізнавати молекули інсуліну – інсулін розбавляється у крові. Крім цієї добре вивченої функції, MET відіграє

також досить різноманітну, менш відому роль. Останні дослідження свідчать про можливий зв'язок між підвищеним ризиком деяких видів раку та діабетом другого типу (Evans et al., 2005).

MET активує протеїнкіназу, активовану аденозинмонофосфатом, що призводить до зниження швидкості росту пухлини (Zhou et al., 2001). Він також націлений на певні типи ракових клітин та онкогенів як *in vivo*, так і *in vitro* (García-Sánchez, Lobaton-Ginsberg, Ferreira-Hermosillo, 2022; Akinyeke et al., 2013; Lonardo et al., 2013; Shank et al., 2012). Клінічні онкологи часто використовують MET як потенційний протипухлинний засіб одночасно з хіміотерапією онкохворих (Garcia, Tisman, 2009;

Piropoulos, Hirsch, Struhl, 2011; Jiralerspong et al., 2009; Perumalsamy, Kumar, Suresh, 2023).

МЕТ доступний як безрецептурний препарат за доступною ціною порівняно з іншими ліками цієї категорії. Доза може варіюватися від 50 мг до 2000 мг на добу (Hirst et al., 2012). Через високі дози в деяких частинах світу метформін міститься у водоймах і стічних водах, що спричиняє забруднення води та перешкоджає морському біорізноманіттю (Scheurer, Sacher, Brauch, 2009; Rao, 2014).

МЕТ має два різні значення констант протонування –  $pK_1$  та  $pK_2$ , що характеризує рівновагу між дипротонованою/монопротонованою та монопротонованою/молекулярною формами відповідно. Значення цих величин –  $pK_1 = 2,8$  та  $pK_2 = 11,6$  (Saxena et al., 2010);  $pK_1 = 3,1$  та  $pK_2 = 13,8$  (Hernandez et al., 2015).

Інтенсивне застосування метформіну зумовлює потребу в наявності надійних методів і методик його визначення в різноманітних об'єктах.

Останнім часом для визначення біологічно активних речовин добре зарекомендували себе потенціометричні методи з використанням іон-селективних електродів (далі – ICE) (Antal et al., 2010; Zubenia et al., 2016a; Zubenia et al., 2016b; Zubenia et al., 2018; Kormosh, Savchuk, 2016; Kormosh, Markovska, Kormosh, 2019; Kormosh et al., 2014; Kormosh et al., 2021; Kormosh et al., 2022a; Kormosh et al., 2022b). Для визначення МЕТ запропоновано деякі потенціометричні сенсори (Elmorsy et al., 2007; Khaled, Kamel, 2011; Khaled et al., 2012). Однак їхні характеристики з тих чи інших причин не завжди відповідають вимогам щодо забезпечення правильності визначення МЕТ у певних об'єктах.

**Мета роботи** – створити новий метформін-чутливий сенсор на основі іонного асоціату метформіну з тропелоїном 00 (Т00), оптимізувати електроаналітичні характеристики та провести його апробацію у процесі визначення МЕТ у різних об'єктах.

**Матеріали та методи дослідження.** Стандартний розчин метформіну готували розчиненням його точної наважки в розчині фонового електроліту.

Іонні асоціати (далі – ІА) отримували шляхом осадження під час змішування розчину МЕТ ( $1 \cdot 10^{-2}$  моль/л) з Т00 у співвідношенні 1:1. Суміш перемішували та залишали за кімнатної

температури на 24 год. Осад, що випав, відфільтровували, декілька разів промивали холодною водою та сушили за кімнатної температури протягом 3 діб.

Пластифіковані ПВХ мембрани готували так: 0,7 г полівінілхлориду (ПВХ) та певну кількість ІА (1–15% від загальної маси мембрани) перемішували. Вводили необхідну кількість пластифікатора диоктилфталат (ДОФ), дибутилфталат (ДБФ), дибутилсебаценат (ДБС), динонілфталат (ДНФ), диетилфталат (ДЕФ), трикрезилфосфат (ТКФ), 0,5–1,0 мл розчинника (циклогексанону чи тетрагідрофурану), вміст ретельно перемішували до однорідної маси. Отриману суміш переносили у форму (кілець діаметром 1,5 см), попередньо відшліфовану та прикріплену до скляної підкладки, і сушили на повітрі протягом 5–7 діб. З отриманих плівок вирізали мембрану діаметром 0,7 см та приклеювали до торця полівінілхлоридної трубки.

Потенціометричний вимір проводили на іономері АІ-123 за кімнатної температури, як електрод порівняння використовували стандартний хлоридсрібний електрод ЕВЛ-1МЗ. Під час вимірів користувалися класичною схемою електрохімічного кола.

Іонну силу розчинів підтримували 0,1 моль/л розчином LiCl. Значення рН розчинів встановлювали за допомогою буферної суміші (0,04 моль/л розчини оцтової, борної, фосфатної кислот у суміші з 0,02 моль/л розчином NaOH). Контроль рН здійснювали рН-метром рН-301 з використанням скляного електрода ЕВЛ-1МЗ.

### Результати та їх обговорення

**Математичне моделювання утворення ІА.** Методом математичного моделювання обґрунтовано енергоєфективність формування ІА. Молекулярне моделювання систем «Т00 + МЕТ<sup>+</sup>» та пов'язані з ним розрахунки проводили з використанням пакета «HyperChem 8.0» для різноманітних вихідних варіантів розташування протиіонів один щодо одного (процедура «single point»). Геометричну оптимізацію іонів проводили методом молекулярної механіки ММ+.

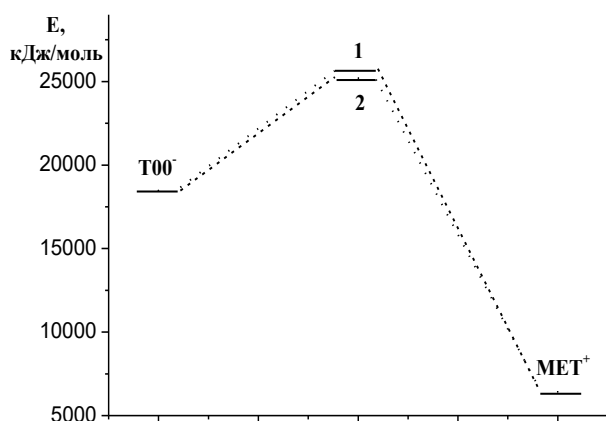
Стандартну ентальпію ( $\Delta H_0$ ) утворення іонів та асоціату «МЕТ<sup>+</sup> + Т00» визначали напівемпіричним методом РМЗ. Параметри цих методів підбрані так, щоб вони давали змогу найкраще відтворювати експериментальні значення  $\Delta H_0$  органічних сполук. Як приклад у таблиці 1 та

на рисунку 1 наведені енергетичні характеристики взаємодії «T00<sup>-</sup> + MET<sup>+</sup>».

Таблиця 1

**Енергетичні характеристики взаємодії T00<sup>-</sup> + MET<sup>+</sup>**

Частинка	E, кДж/моль
MET <sup>+</sup>	6420
T00 <sup>-</sup>	18471
Σ (T00 <sup>-</sup> + MET <sup>+</sup> )	24891
IA (T00 <sup>-</sup> MET <sup>+</sup> )	25203
Σ (T00 <sup>-</sup> + MET <sup>+</sup> ) – IA	312



**Рис. 1.** Рівні енергії іонів T00<sup>-</sup>, MET<sup>+</sup> та їх IA: 1) сума енергій T00<sup>-</sup> і MET<sup>+</sup>; 2) енергія IA

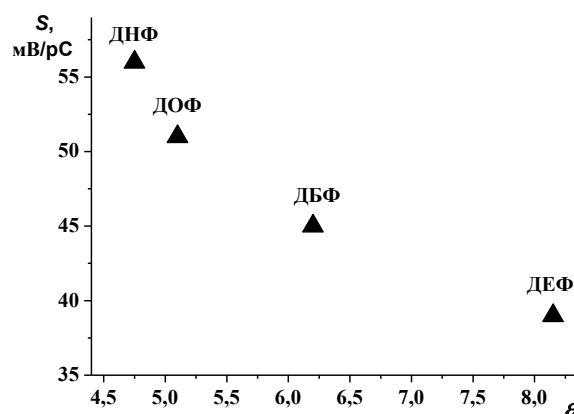
Як видно, різниця в енергії утворення іонного асоціату та сумі енергій утворення його компонентів дорівнює 312 кДж/моль. Отже, процес утворення IA є термодинамічно вигідним.

**Моделювання та оптимізація складу мембран.** Отримані ICE з різним вмістом IA дають відклик у присутності  $n \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-1}$  моль/л MET. За умови вмісту IA від 1 до 5% крутизна електродної функції дещо нижча від теоретичної, нижня межа виявлення становить  $n \cdot 10^{-5}$  моль/л MET.

Як мембранні пластифікатори досліджували такі органічні розчинники з відповідною діелектричною проникністю ( $\epsilon$ ) та полярністю Роршнайдера (PP): діетилфталат (8,15; 40), дибутилфталат (6,1-6,4; 38), дибутилсебаценат, діоктилфталат; (5,1; 30), динонілфталат (4,47; 26), трикрезилфосфат (6,7-7; 25).

Результати дослідження впливу природи пластифікаторів на електроаналітичні властивості розроблених сенсорів свідчать про те, що найкращим пластифікатором для системи

є ТКФ або ДНФ. Для цих розчинників добуток величини діелектричної проникності та полярності Роршнайдера ( $\epsilon \times PP$ ) становлять 123,5 та 175 відповідно. Для пластифікаторів, які виявилися менш ефективними (ДБФ і ДЕФ), ці величини становлять 235,6 та 326 відповідно. Для мембран з однаковим вмістом пластифікатора одного гомологічного ряду (ДЕФ, ДБФ, ДОФ, ДНФ) нахил Нернстівської функції зменшується зі зростанням діелектричної проникності розчинника-пластифікатора (див. рис. 2).



**Рис. 2.** Вплив діелектричної проникності фталатного пластифікатора на Нернстівську функцію MET-чутливого електрода

Вивчено вплив різних факторів на електрохімічні характеристики отриманих ICE; показано, що робочий інтервал рН електрода – від 2 до 11. Дрейф потенціалу не перевищує 1–3 мВ/добу. Стабільні значення електродних потенціалів устанавлюються за 5–15 с. Стабільність електроаналітичних характеристик оптимізованих мембран спостерігається не менше трьох місяців.

Вивчено вплив внутрішнього розчину на стабільність потенціалів ICE. Для цього використовували розчини метформіну від  $1 \cdot 10^{-4}$  до  $1 \cdot 10^{-2}$  моль/л. Виявилось, що зміна концентрації внутрішнього розчину не впливає на стабільність характеристики мембран.

Вивчено вплив різних речовин на відклик розроблених метформін-чутливих електродів. Встановлено, що розроблені сенсори проявляють задовільну селективність щодо цілої низки речовин та іонів. Визначенню MET не заважають 300- та 1000-кратні кількості глюкози, крохмалю, полівінілового спирту, іонів Na<sup>+</sup>,



Результати визначення метформіну в різних лікарських формах ( $P = 0,95$ ;  $n = 5$ )

Назва, виробник, країна	Реглам. вміст, мг	Знайдено, мг					
		Пряма потенц.	RSD, %	Станд. добавок	RSD, %	Титр.	RSD, %
Метформін сандоз, Сандоз Фармасьютикалз, Польща	850	845,2 ± 6,1	9,1	843,3 ± 4,1	6,2	847,2 ± 4,0	4,9
	500	505,3 ± 4,9	10,2	502,5 ± 5,1	7,1	501,5 ± 3,1	3,4
Метформін-Тева, Тева Фармацевтікал Індустріз Лтд, Ізраїль	1000	997,4 ± 5,9	6,3	998,4 ± 3,9	4,2	997,9 ± 3,5	3,6
Метформін-Санofi, ТОВ «Санofi-Авентіс Україна», Україна	1000	997,2 ± 3,9	5,2	998,7 ± 2,9	5,1	999,9 ± 1,5	2,9
	850	851,2 ± 4,1	9,1	849,3 ± 5,0	7,2	850,2 ± 1,9	3,8
	500	502,4 ± 4,9	8,0	502,5 ± 3,1	6,4	501,9 ± 1,1	3,2

$K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$ . Це своєю чергою дає можливість практичного використання розроблених МЕТ-чутливих сенсорів у різноманітних об'єктах.

**Визначення метформіну.** Метформін визначали методами прямої потенціометрії, стандартних добавок та потенціометричного титрування (як титрант використовували розчин тетрафенілборату натрію). Таблетки подрібнювали, ретельно розтирали до однорідної маси; наважку з отриманого порошку переносили в мірні колби на 50 мл, розчиняли в розчині фонового електроліту із рН 7. Одержані результати наведені в таблиці 2.

Як видно з одержаних даних, розроблені сенсори є надійними в експлуатації.

**Висновки.** Унаслідок проведеного дослідження встановлено, що метформін із тропеоліном 00 утворює іонний асоціат, який можна виділити у твердому вигляді, що придатний для створення пластифікованих мембранних потенціометричних метформін-чутливих сенсорів.

Методом математичного моделювання обґрунтовано енергоефективність формування ІА.

Кращим пластифікатором для системи є ТКФ або ДНФ. Для цих розчинників добуток величини діелектричної проникності та полярності Роршнайдера ( $\epsilon \times PR$ ) становлять 123,5 та 175 відповідно. Для пластифікаторів, які виявилися менш ефективними (ДБФ і ДЕФ), ці величини становлять 235,6 та 326 відповідно. Для мембран з однаковим вмістом пластифікатора одного гомологічного ряду (ДЕФ, ДБФ, ДОФ, ДНФ) нахил Нернстівської функції зменшується зі зростанням діелектричної проникності розчинника-пластифікатора.

Встановлено, що розроблені сенсори проявляють задовільну селективність щодо цілої низки речовин та іонів. Визначенню МЕТ не заважають 300- та 1000-кратні кількості глюкози, крохмалю, полівінілового спирту, іонів  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$ . Це своєю чергою дає можливість практичного використання розроблених МЕТ-чутливих сенсорів у різноманітних об'єктах.

## ЛІТЕРАТУРА:

- García-Sánchez M., Lobaton-Ginsberg M., Ferreira-Hermosillo A. Metformin in Differentiated Thyroid Cancer: Molecular Pathways and Its Clinical Implications. *Biomolecules*. 2022. Vol. 12. Iss. 4. P. 574. DOI: 10.3390/biom12040574.
- Unique Features of Metformin: A Combined Experimental, Theoretical, and Simulation Study of Its Structure, Dynamics, and Interaction Energetics with DNA Grooves / S. Mondal et al. *J. Phys. Chem. B*. 2018. Vol. 122. Iss. 8. P. 2227–2242. DOI: 10.1021/acs.jpcc.7b11928.
- Reduction in the incidence of type 2 diabetes with lifestyle intervention or metformin / Diabetes Prevention Program Research Group. *N. Engl. J. Med.* 2002. Vol. 346. Iss. 6. P. 393–403. URL: <https://jdc.jefferson.edu/medfp/322>.
- Sequential intensification of metformin treatment in type 2 diabetes with liraglutide followed by randomized addition of basal insulin prompted by A1C targets / J. DeVries et al. *Diabetes care*. 2012. № 35. P. 1446–1454. DOI: 10.2337/dc11-1928.
- Metformin and reduced risk of cancer in diabetic patients / J. Evans et al. *Bmj*. 2005. № 330. P. 1304–1305. DOI: 10.1136/bmj.38415.708634.F7.
- Role of AMP-activated protein kinase in mechanism of metformin action / G. Zhou et al. *J. Clin. Investig.* 2001. № 108. P. 1167. DOI: 10.1172/JCI13505.

7. Metformin targets c-MYC oncogene to prevent prostate cancer / T. Akinyeke et al. *Carcinogenesis*. 2013. № 34. P. 2823–2832. DOI: 10.1093/carcin/bgt307.
8. Metformin targets the metabolic Achilles heel of human pancreatic cancer stem cells / E. Lonardo et al. *PLoS one*. 2013. № 8. P. e76518. DOI: 10.1371/journal.pone.0076518.
9. Metformin targets ovarian cancer stem cells in vitro and in vivo / J. Shank et al. *Gynecol. Oncol.* 2012. № 127. P. 390–397. DOI: 10.1016/j.ygyno.2012.07.115.
10. Garcia A., Tisman G. Metformin, B12, and enhanced breast cancer response to chemotherapy. *J. Clin. Oncol.* 2009. № 28. P. e19. DOI: 10.1200/JCO.2009.25.7857.
11. Iliopoulos D., Hirsch H., Struhl K. Metformin decreases the dose of chemotherapy for prolonging tumor remission in mouse xenografts involving multiple cancer cell types. *Cancer research*. 2011. № 71. P. 3196–3201. DOI: 10.1158/0008-5472.CAN-10-3471.
12. Metformin and pathologic complete responses to neoadjuvant chemotherapy in diabetic patients with breast cancer / S. Jiralerspong et al. *J. Clin. Oncol.* 2009. № 27. P. 3297–3302. DOI: 10.1200/JCO.2009.19.6410.
13. Perumalsamy V., Kumar H., Suresh S. Conjugation of Curcumin and Metformin for Improved Pharmacological Profile in Cancer Therapy: An In Silico Approach. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2023. Vol. 13. Iss. 2. P. 101. URL: <https://doi.org/10.33263/BRIAC132.101>.
14. Quantifying the effect of metformin treatment and dose on glycemic control / J. Hirst et al. *Diabetes Care*. 2012. № 35. P. 446–454. DOI: 10.2337/dc11-1465.
15. Scheurer M., Sacher F., Brauch H.-J. Occurrence of the antidiabetic drug metformin in sewage and surface waters in Germany. *J. Environ. Monit.* 2009. № 11. P. 1608–1613. DOI: 10.1039/b909311g.
16. Rao C. Biguanides. *Encyclopedia of Toxicology* / ed. by P. Wexler. 3<sup>rd</sup> ed. Amsterdam : Academic Press, 2014. P. 452–455. URL: <https://www.elsevier.com/books/encyclopedia-of-toxicology/wexler/978-0-12-386454-3>.
17. UV spectrophotometric method for the quantitation of metformin hydrochloride in pharmaceutical dosage form / P. Saxena et al. *Orient. J. Chem.* 2010. Vol. 26. Iss. 5. P. 1553–1556. URL: <http://www.orientjchem.org/?p=24645>.
18. Protonation-deprotonation and structural dynamics of antidiabetic drug metformin / B. Hernandez et al. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 2015. № 114. P. 42–48. DOI: 10.1016/j.jpba.2015.04.041.
19. Kormosh Zh., Savchuk T. Potentiometric sensor for povidone-iodine determination. *Pharm. Chem. J.* 2016. Vol. 50. Iss. 8. P. 556–557. DOI: 10.1007/s11094-016-1489-8.
20. Design and application of levamisole-selective membrane sensor / N. Zubenia et al. *Anal. Bioanal. Electrochem.* 2016. Vol. 8. Iss. 4. P. 466–477. URL: [http://abechem.ir/No.%204-2016/2016,%208\(4\),%20466-477.pdf](http://abechem.ir/No.%204-2016/2016,%208(4),%20466-477.pdf).
21. Potentiometric membrane sensors for levamisole determination / N. Zubenia et al. *Mediterr. Journ. Chem.* 2016. Vol. 6. Iss. 2. P. 7–14. DOI: 10.13171/mjc61/016111516/kormosh.
22. Potentiometric sensor for the determination of povidone-iodine / Zh. Kormosh et al. *Anal. Bioanal. Electrochem.* 2014. Vol. 6. Iss. 3. P. 367–378. URL: [http://abechem.ir/No.%203-2014/2014,6\\_3\\_367-378.pdf](http://abechem.ir/No.%203-2014/2014,6_3_367-378.pdf).
23. Design of a Vitamin B<sub>1</sub>-Selective Electrode Based on an Ion-Pair and Its Application to Pharmaceutical Analysis / I. Antal et al. *Electroanalysis*. 2010. Vol. 22. Iss. 22. P. 2714–2719. URL: <https://doi.org/10.1002/elan.201000124>.
24. Design of a Gramine-Selective Membrane Sensor / N. Zubenia et al. *Anal. Bioanal. Electrochem.* 2018. Vol. 10. Iss. 5. P. 531–540. URL: [http://abechem.ir/No.%205-2018/2018,%2010\(5\),%20531-540.pdf](http://abechem.ir/No.%205-2018/2018,%2010(5),%20531-540.pdf).
25. Kormosh Zh., Markovska N., Kormosh N. Potentiometric Sensor for Benzylpenicillin Determination. *Pharm. Chem. J.* 2019. Vol. 53. P. 577–579. URL: <https://doi.org/10.1007/s11094-019-02040-w>.
26. Potentiometric Sensor for Naproxen Determination / Zh. Kormosh et al. *Pharm. Chem. J.* 2021. Vol. 55. Iss. 1. P. 97–99. URL: <https://doi.org/10.1007/s11094-021-02379-z>.
27. The New Mephenamin- and Phenylanthranilate- Selective Membrane Sensor / Zh. Kormosh et al. *Anal. Bioanal. Electrochem.* 2022. Vol. 14. Iss. 1. P. 32–44. URL: [http://www.abechem.com/article\\_249321.html](http://www.abechem.com/article_249321.html).
28. Potentiometric Sensor for Ketoprofen Determination / Zh. Kormosh et al. *Pharm. Chem. J.* 2022. Vol. 55. Iss. 1. P. 1412–1415. DOI: 10.1007/s11094-022-02590-6.
29. Khaled E., Kamel M. Cyclodextrin-Based Potentiometric Sensors for Metformin. *Sensing in Electroanalysis* / K. Kalcher, R. Metelka, I. Švancara, K. Vytas (eds.). Pardubice : University Press Centre, 2011. P. 323–335. URL: [https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/42526/KhaledE\\_Cyclodextrin-Based\\_2011.pdf?sequence=1](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/42526/KhaledE_Cyclodextrin-Based_2011.pdf?sequence=1).
30. Novel Metformin Carbon Paste and PVC Electrodes / K. Elmorsy et al. *Current Pharm. Anal.* 2007. № 3. P. 262–267. DOI: 10.2174/157341207782418776.
31. Miniaturized ionophore-based potentiometric sensors for the flow-injection determination of metformin in pharmaceutical formulations and biological fluids / E. Khaled et al. *Analyst*. 2012. Vol. 23. Iss. 137. P. 5680–5687. DOI: 10.1039/C2AN35696A.

## REFERENCES:

1. García-Sánchez, M., Lobaton-Ginsberg, M., Ferreira-Hermosillo, A. (2022). Metformin in Differentiated Thyroid Cancer: Molecular Pathways and Its Clinical Implications. *Biomolecules*, vol. 12, iss. 4, pp. 574. DOI: 10.3390/biom12040574 [in English].
2. Mondal, S. et al. (2018). Unique Features of Metformin: A Combined Experimental, Theoretical, and Simulation Study of Its Structure, Dynamics, and Interaction Energetics with DNA Grooves. *J. Phys. Chem. B.*, vol. 122, iss. 8, pp. 2227–2242. DOI: 10.1021/acs.jpcc.7b11928 [in English].
3. Diabetes Prevention Program Research Group (2002). Reduction in the incidence of type 2 diabetes with lifestyle intervention or metformin. *N. Engl. J. Med.*, vol. 346, iss. 6, pp. 393–403. Retrieved from: <https://jdc.jefferson.edu/medfp/322> [in English].
4. DeVries, J. et al. (2012). Sequential intensification of metformin treatment in type 2 diabetes with liraglutide followed by randomized addition of basal insulin prompted by A1C targets. *Diabetes care*, no. 35, pp. 1446–1454. DOI: 10.2337/dc11-1928 [in English].
5. Evans, J. et al. (2005). Metformin and reduced risk of cancer in diabetic patients. *Bmj.*, no. 330, pp. 1304–1305. DOI: 10.1136/bmj.38415.708634.F7 [in English].
6. Zhou, G. et al. (2001). Role of AMP-activated protein kinase in mechanism of metformin action. *J. Clin. Investig.*, no. 108, p. 1167. DOI: 10.1172/JCI13505 [in English].
7. Akinyeke, T. et al. (2013). Metformin targets c-MYC oncogene to prevent prostate cancer. *Carcinogenesis*, no. 34, pp. 2823–2832. DOI: 10.1093/carcin/bgt307 [in English].
8. Lonardo, E. et al. (2013). Metformin targets the metabolic Achilles heel of human pancreatic cancer stem cells. *PLoS one*, no. 8, p. e76518. DOI: 10.1371/journal.pone.0076518 [in English].
9. Shank, J. et al. (2012). Metformin targets ovarian cancer stem cells in vitro and in vivo. *Gynecol. Oncol.*, no. 127, pp. 390–397. DOI: 10.1016/j.ygyno.2012.07.115 [in English].
10. Garcia, A., Tisman, G. (2009). Metformin, B12, and enhanced breast cancer response to chemotherapy. *J. Clin. Oncol.*, no. 28, p. e19. DOI: 10.1200/JCO.2009.25.7857 [in English].
11. Iliopoulos, D., Hirsch, H., Struhl, K. (2011). Metformin decreases the dose of chemotherapy for prolonging tumor remission in mouse xenografts involving multiple cancer cell types. *Cancer research*, no. 71, pp. 3196–3201. DOI: 10.1158/0008-5472.CAN-10-3471 [in English].
12. Jiralerspong, S. et al. (2009). Metformin and pathologic complete responses to neoadjuvant chemotherapy in diabetic patients with breast cancer. *J. Clin. Oncol.*, no. 27, pp. 3297–3302. DOI: 10.1200/JCO.2009.19.6410 [in English].
13. Perumalsamy, V., Kumar, H., Suresh, S. (2023). Conjugation of Curcumin and Metformin for Improved Pharmacological Profile in Cancer Therapy: An In Silico Approach. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, vol. 13, iss. 2, p. 101. Retrieved from: <https://doi.org/10.33263/BRIAC132.101> [in English].
14. Hirst, J. et al. (2012). Quantifying the effect of metformin treatment and dose on glycemic control. *Diabetes Care*, no. 35, pp. 446–454. DOI: 10.2337/dc11-1465 [in English].
15. Scheurer, M., Sacher, F., Brauch, H.-J. (2009). Occurrence of the antidiabetic drug metformin in sewage and surface waters in Germany. *J. Environ. Monit.*, no. 11, pp. 1608–1613. DOI: 10.1039/b909311g [in English].
16. Rao, C. (2014). Biguanides. *Encyclopedia of Toxicology* / ed. by P. Wexler. 3<sup>rd</sup> ed. Amsterdam: Academic Press, pp. 452–455. Retrieved from: <https://www.elsevier.com/books/encyclopedia-of-toxicology/wexler/978-0-12-386454-3> [in English].
17. Saxena, P. et al. (2010). UV spectrophotometric method for the quantitation of metformin hydrochloride in pharmaceutical dosage form. *Orient. J. Chem.*, vol. 26, iss. 5, pp. 1553–1556. Retrieved from: <http://www.orientjchem.org/?p=24645> [in English].
18. Hernandez, B. et al. (2015). Protonation-deprotonation and structural dynamics of antidiabetic drug metformin. *J. Pharm. Biomed. Anal.*, no. 114, pp. 42–48. DOI: 10.1016/j.jpba.2015.04.041 [in English].
19. Kormosh, Zh., Savchuk, T. (2016). Potentiometric sensor for povidone-iodine determination. *Pharm. Chem. J.*, vol. 50, iss. 8, pp. 556–557. DOI: 10.1007/s11094-016-1489-8 [in English].
20. Zubenja, N. et al. (2016a). Design and application of levamisole-selective membrane sensor. *Anal. Bioanal. Electrochem.*, vol. 8, iss. 4, pp. 466–477. Retrieved from: [http://abechem.ir/No.%204-2016/2016,%208\(4\),%20466-477.pdf](http://abechem.ir/No.%204-2016/2016,%208(4),%20466-477.pdf) [in English].
21. Zubenja, N. et al. (2016b). Potentiometric membrane sensors for levamisole determination. *Mediterr. Journ. Chem.*, vol. 6, iss. 2, pp. 7–14. DOI: 10.13171/mjc61/016111516/kormosh [in English].
22. Kormosh, Zh. et al. (2014). Potentiometric sensor for the determination of povidone-iodine. *Anal. Bioanal. Electrochem.*, vol. 6, iss. 3, pp. 367–378. Retrieved from: [http://abechem.ir/No.%203-2014/2014,6\\_3\\_367-378.pdf](http://abechem.ir/No.%203-2014/2014,6_3_367-378.pdf) [in English].

23. Antal, I. et al. (2010). Design of a Vitamin B<sub>1</sub>-Selective Electrode Based on an Ion-Pair and Its Application to Pharmaceutical Analysis. *Electroanalysis*, vol. 22, iss. 22, pp. 2714–2719. Retrieved from: <https://doi.org/10.1002/elan.201000124> [in English].
24. Zubenja, N. et al. (2018). Design of a Gramine-Selective Membrane Sensor. *Anal. Bioanal. Electrochem.*, vol. 10, iss. 5, pp. 531–540. Retrieved from: [http://abechem.ir/No.%205-2018/2018,%2010\(5\),%20531-540.pdf](http://abechem.ir/No.%205-2018/2018,%2010(5),%20531-540.pdf) [in English].
25. Kormosh, Zh., Markovska, N., Kormosh, N. (2019). Potentiometric Sensor for Benzylpenicillin Determination. *Pharm. Chem. J.*, vol. 53, pp. 577–579. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s11094-019-02040-w> [in English].
26. Kormosh, Zh. et al. (2021). Potentiometric Sensor for Naproxen Determination. *Pharm. Chem. J.*, vol. 55, iss. 1, pp. 97–99. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s11094-021-02379-z> [in English].
27. Kormosh, Zh. et al. (2022a). The New Mephenamate- and Phenylanthranilate- Selective Membrane Sensor. *Anal. Bioanal. Electrochem.*, vol. 14, iss. 1, pp. 32–44. Retrieved from: [http://www.abechem.com/article\\_249321.html](http://www.abechem.com/article_249321.html) [in English].
28. Kormosh, Zh. et al. (2022b). Potentiometric Sensor for Ketoprofen Determination. *Pharm. Chem. J.*, vol. 55, iss. 1, pp. 1412–1415. DOI: 10.1007/s11094-022-02590-6 [in English].
29. Khaled, E., Kamel, M. (2011). Cyclodextrin-Based Potentiometric Sensors for Metformin. *Sensing in Electroanalysis / K. Kalcher, R. Metelka, I. Švancara, K. Vytas (eds.)*. Pardubice: University Press Centre, pp. 323–335. Retrieved from: [https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/42526/KhaledE\\_Cyclodextrin-Based\\_2011.pdf?sequence=1](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/42526/KhaledE_Cyclodextrin-Based_2011.pdf?sequence=1) [in English].
30. Elmorsy, K. et al. (2007). Novel Metformin Carbon Paste and PVC Electrodes. *Current Pharm. Anal.*, no. 3, pp. 262–267. DOI: 10.2174/157341207782418776 [in English].
31. Khaled, E. et al. (2012). Miniaturized ionophore-based potentiometric sensors for the flow-injection determination of metformin in pharmaceutical formulations and biological fluids. *Analyst.*, vol. 23, iss. 137, pp. 5680–5687. DOI: 10.1039/C2AN35696A [in English].

УДК 544.7 + 544.2

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-6>

**Едуард ЛИСЕНКОВ**

доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем, Чорноморський національний університет імені Петра Могили, вул. 68 десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003

**ORCID:** 0000-0002-1369-4609

**Бібліографічний опис статті:** Лисенков, Е. (2022). Вплив поліетилегліколевих модифікаторів на розподіл вуглецевих нанотрубок у полімерній матриці. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 45–51, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-6>

**ВПЛИВ ПОЛІЕТИЛЕГЛІКОЛЕВИХ МОДИФІКАТОРІВ  
НА РОЗПОДІЛ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОТРУБОК У ПОЛІМЕРНІЙ МАТРИЦІ**

У полімерних наноконструкціях, наповнених вуглецевими нанотрубками (ВНТ), дуже важко забезпечити рівномірність розподілу нанотрубок у полімерній матриці, а також стабільність даної дисперсії у часі. Тому у таких системах з часом, завдяки потужним ван-дер-ваальсівським силам притягання між окремими нанотрубками, має місце агрегація частинок наповнювача, яка приводить до переходу від нано- до мікрорівня їх структурної організації. Такий перехід негативно впливає на комплекс функціональних властивостей полімерних наноконструкцій, наповнених ВНТ. Отже, розробка нових підходів до стабілізації наночастинок з метою перешикування їх агрегації для створення наноконструктивних матеріалів із полішеними функціональними характеристиками є актуальною задачею.

У роботі вивчено вплив нековалентної модифікації вуглецевих нанотрубок за допомогою поліетиленгліколю (ПЕГ) різної молекулярної маси на ступінь їх розподілу у полімерній матриці. Досліджували особливості розподілу ВНТ різних типів: немодифікованих і нековалентно модифікованих з використанням різних молекул ПЕГ нанотрубок. Із аналізу мікроскопічних зображень виявлено, що модифіковані ВНТ більш рівномірно розподіляються у полімерній матриці, ніж немодифіковані нанотрубки, що можна пояснити різним характером взаємодії між полімерною матрицею та ВНТ. Визначено, що для систем, які містять модифіковані ВНТ, спостерігається вище значення фрактальної розмірності, що свідчить про утворення більш розпушених агрегатів із ВНТ, тоді як не модифіковані ВНТ виявляють тенденцію до утворення більш щільних агрегатів. Виявлено, що значення фрактальної розмірності для функціоналізованих ВНТ наближається до 3, що свідчить про рівномірний ступінь розподілу ВНТ. Встановлено, що найвищу стабілізуючу дію чинить модифікатор на основі ПЕГ-10000. При цьому ВНТ найбільш рівномірно розподіляються по об'єму матеріалу.

**Ключові слова:** вуглецеві нанотрубки, нековалентна модифікація, поліетиленгліколь, мікроструктура, фрактальна розмірність.

**Eduard LYSENKOV**

Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Professor of the Department of Intellectual Information Systems, Petro Mohyla Black Sea National University, 10 68 Desantnykiv str., Mykolaiv, Ukraine, 54003

**ORCID:** 0000-0002-1369-4609

**To cite this article:** Lysenkov, E. (2022). Vplyv polietylehlikolevykh modyfikatoriv na rozpodil vuhletsevykh nanotrubok u polimerniy matrytsi [The influence of polyethylene glycol modifiers on the distribution of carbon nanotubes in the polymer matrix]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 45–51, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-6>

**THE INFLUENCE OF POLYETHYLENE GLYCOL MODIFIERS  
ON THE DISTRIBUTION OF CARBON NANOTUBES IN THE POLYMER MATRIX**

In polymer nanocomposites filled with carbon nanotubes (CNTs), it is very difficult to ensure the uniformity of the distribution of nanotubes in the polymer matrix, as well as the stability of this dispersion over time. Therefore, in such systems, over time, due to the strong van der Waals forces of attraction between individual nanotubes, the aggregation of filler particles takes place, which leads to the transition from the nano to the micro level of their structural organization. Such a transition negatively affects the set of functional properties of polymer nanocomposites filled with CNTs. Therefore,

*the development of new approaches to the stabilization of nanoparticles in order to prevent their aggregation for the creation of nanocomposite materials with improved functional characteristics is an urgent task.*

*The paper studied the effect of non-covalent modification of carbon nanotubes using polyethylene glycol (PEG) of different molecular weight on the degree of their distribution in the polymer matrix. The peculiarities of the distribution of CNTs of various types: unmodified and non-covalently modified, using different molecules of PEG, nanotubes were studied. From the analysis of microscopic images, it was found that modified CNTs are more evenly distributed in the polymer matrix than unmodified nanotubes, which can be explained by the different nature of the interaction between the polymer matrix and CNTs. It was determined that for systems containing modified CNTs, a higher value of the fractal dimension is observed, which indicates the formation of looser CNT aggregates, while unmodified CNTs show a tendency to form denser aggregates. It was found that the value of the fractal dimension for functionalized CNTs is close to 3, which indicates a uniform distribution of CNTs. It was established that the modifier based on PEG-10000 exerts the highest stabilizing effect. At the same time, CNTs are most evenly distributed throughout the volume of the material.*

**Key words:** carbon nanotubes, non-covalent modification, polyethylene glycol, microstructure, fractal dimension.

## Вступ

Полімерні нанокомпозити, які містять вуглецеві нанотрубки (ВНТ), привертають значну увагу науковців протягом останніх двох десятиліть. Такий підвищений інтерес зумовлений специфічною будовою ВНТ, які складаються з циліндрових графенових шарів, їхніми унікальними тепловими, магнітними, електричними та механічними властивостями, зокрема екстремально високою механічною міцністю і високою хімічною стабільністю (Shoukat, 2021). Однак кінцеві властивості полімерного нанокомпозитного матеріалу, наповненого нанотрубками, залежить від багатьох чинників: форма, аспектно відношення, хімічний стан поверхні ВНТ, а також методів змішування полімеру і наповнювача (Iqbal, 2021).

Для поліпшення розподілу ВНТ у полімерній матриці ефективно застосовують функціоналізацію поверхні нанотрубок. Така модифікація ВНТ дає змогу створити додаткові стеричні перешкоди, які унеможливають наближення нанотрубок на дуже маленькі відстані (агрегацію). Одним із ефективних методів модифікації є функціоналізація за допомогою полімерів, до якої можна зачислити хімічну («ковалентну») та фізичну («нековалентну»), що базуються на утворенні ковалентних зв'язків або більш слабких взаємодій (наприклад, електростатичні сили або сили Ван-дер-Ваальса), відповідно (Baowan, 2019).

Одними із перспективних модифікаторів вуглецевих нанотрубок є аліфатичні поліетердіоли, такі як поліетиленгліколь (ПЕГ) та поліпропіленгліколь (ППГ). Досліджено дисперсії поверхнево-модифікованих ВНТ у водорозчинних (ПЕГ) і водонерозчинних (ППГ) полімерах (Vaisman, 2006). Так, автори роботи (Nuriel, 2005) спостерігали добре змочування та поліпшену дисперсність багатшарових ВНТ при викорис-

танні обох полімерів (ПЕГ та ППГ). Функціоналізація ВНТ шляхом хімічного прищеплення молекули ПЕГ (так зване пегілювання) підвищує їх розчинність у воді та водних розчинах (Kubota 2009). Крім того, багатшарові ВНТ, ковалентно функціоналізовані ПЕГ, показали відмінну гідрофільність, хорошу біоелектрокаталітичну активність і біосумісність (Wen, 2009). Однак, ґрунтовні дослідження щодо особливостей нековалентної модифікації ВНТ за допомогою ПЕГ різних молекулярних мас наразі відсутні. Тому метою нашої роботи була розробка методу нековалентної модифікації ВНТ за допомогою поліетиленгліколю різних молекулярних мас та дослідження розподілу модифікованих нанотрубок у полімерній матриці.

## Експериментальна частина

Для дослідження використовували різні серії немодифікованих та нековалентно модифікованих вуглецевих нанотрубок. Для нековалентної модифікації ВНТ використовували поліетиленгліколь.

Як модифікатори використовували поліетиленгліколь (ПЕГ 400), молекулярної маси  $M_w = 400$ , поліетиленгліколь (ПЕГ-1000), молекулярної маси  $M_w = 1000$  та поліетиленгліколь (ПЕГ 10000), молекулярної маси  $M_w = 10000$ , виробництва компанії Aldrich.

Перед використанням ПЕГ зневоднювали нагріванням у вакуумі протягом чотирьох годин за 353-373 К при залишковому тиску 300 Па.

Багатшарові ВНТ виробництва ВАТ «Спецмаш» (Україна) виготовлені з етилену методом хімічного осадження парів (CVD). Вміст мінеральних домішок становив не більше 0,1%. ВНТ містили функціональні групи на поверхні, вміст яких визначали титруванням. Питома поверхня – 190 м<sup>2</sup>/г, зовнішній діаметр – 20 нм, довжина (5÷10) мкм, аспектно відношення  $L/d \approx 250 \pm 170$ .

Нековалентну модифікацію ВНТ проводили за схемою, яка зображена на рис. 1. ПЕГ розчиняли у воді у співвідношенні 1:5. Після розчинення додавали ВНТ, де співвідношення ПЕГ-ВНТ становило 1:3. Після цього суміш змішували за допомогою ультразвукового диспергатора УДЗН А-650. Диспергація тривала неперервно протягом 10 хв на частоті 22 кГц, потужність ультразвуку становила 100 Вт. На завершальному етапі проводили випарювання води.

Для визначення впливу модифікації на розподіл нанотрубок у полімерній матриці приготували полімерні нанокомпозити на основі ПЕГ-1000. Один із зразків містив не модифіковані ВНТ, а інший – ВНТ, які були нековалентно модифіковані. Вміст ВНТ становив 0,75 мас. %, у якому, згідно з літературними даними для такого типу систем, утворюється перколяційний кластер із нанотрубок (Клерко, 2015).

Дослідження мікроструктури отриманих матеріалів проводили за допомогою цифрового оптичного мікроскопа SIGETA MB-303 (Україна), який обладнано цифровою відеокамерою SIGETA DCM-800 (Україна). Для проведення досліджень матеріали у розплавленому стані поміщали між двох плоскопаралельних скляних пластинок, відстань між якими становила 80 мкм.

Із мікроскопічних знімків оцінювали фрактальну розмірність  $d_f$ , яка відображає морфологію кластерів із ВНТ у двовимірній проекції (Lysenkov, 2015). Фрактальна розмірність  $d_f$  була розрахована шляхом підрахунку кількості комірок, потрібних для покриття периметру агрегатів  $N$  від розміру комірки  $L$  (Feder, 2013).

$$N \propto L^{d_f}. \quad (1)$$

Для оцінки фрактальної розмірності всі зображення переводили у бінарний (чорно-білий) формат. Для переходу до фрактальної

розмірності тривимірних агрегатів можна скористатися наступною формулою (Feder, 2013):

$$d_f^3 = d_f^2 + 1, \quad (2)$$

де  $d_f^3$  – фрактальна розмірність тривимірних агрегатів;  $d_f^2$  – фрактальна розмірність двовимірних агрегатів.

Для отримання інформації про фрактальність структури кластерів із ВНТ, отримані мікрознімки обробляли використовуючи програму ImageJ v1.41. В аналізі мікрофотографій виникала абсолютна похибка, яка варіювалася від 0,3 до 0,5.

### Результати та їх обговорення

Для більшості багатошарових ВНТ, виготовлених методом CVD, характерна наявність на поверхні невеликої кількості функціональних груп. У ВНТ, які використовували у даній роботі, на поверхні були виявлені гідроксильні, лактонні та карбоксильні групи (Лисенков, 2017). Ці полярні групи в складі ВНТ можуть вступати в диполь-дипольні взаємодії з поліетиленгліколем, а також здатні до формування сильних водневих зв'язків з основним ланцюгом та з його кінцевими гідроксильними групами, що сприяє адсорбції полімеру на поверхні ВНТ (Лисенков, 2017).

### Особливості структурної організації функціоналізованих ВНТ.

На рис. 2 приведені мікроскопічні зображення немодифікованих ВНТ та ПЕГ-модифікованих ВНТ. Із фотографій видно, що немодифіковані ВНТ утворюють великі та щільні агрегати, тоді як модифіковані ВНТ мають більш рівномірний розподіл.

Подібний вплив на розподіл ВНТ чинить модифікація нанотрубок за допомогою ПЕГ-1000 (рис. 3). При дисперсії немодифікованих ВНТ, вони формують великі агрегати. Нековалентна функціоналізація ж дозволяє отримати більш рівномірний розподіл ВНТ.

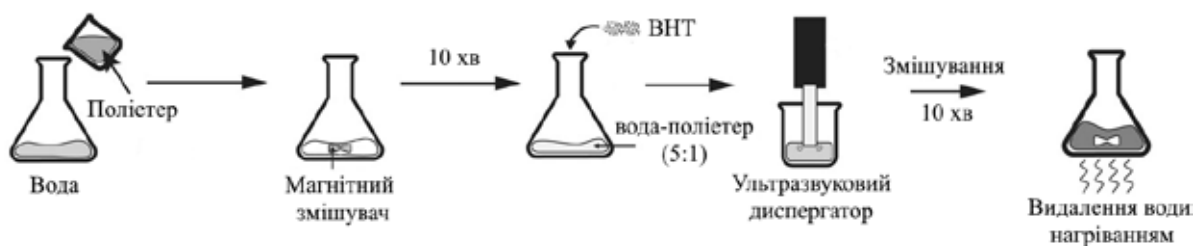
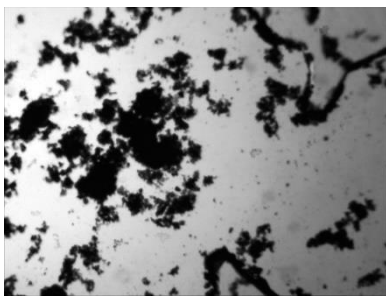
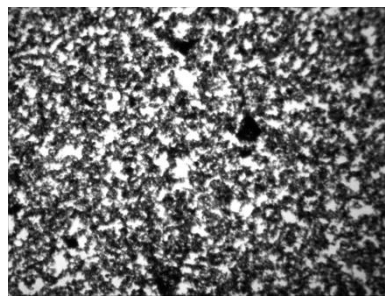


Рис. 1. Схема модифікації ВНТ

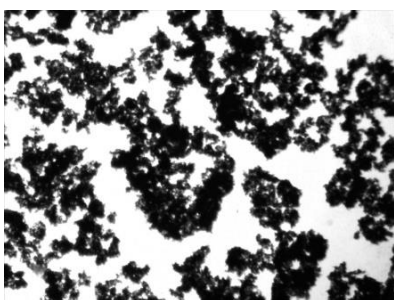


*a)*

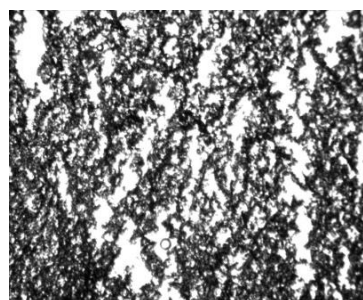


*б)*

**Рис. 2.** Мікрофотографії систем, які містять немодифіковані ВНТ (а) та модифіковані ВНТ з використанням ПЕГ-400 (б)

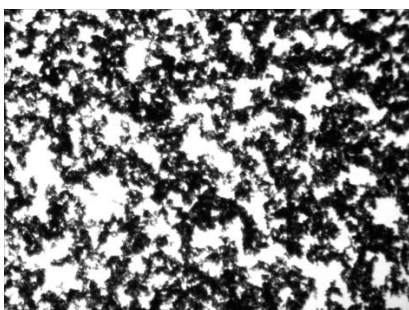


*a)*

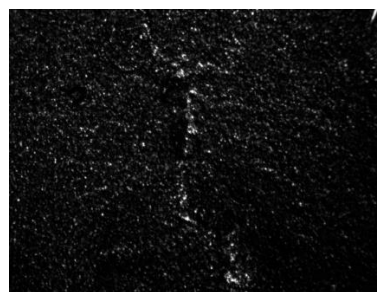


*б)*

**Рис. 3.** Мікрофотографії систем, які містять немодифіковані ВНТ (а) та модифіковані ВНТ з використанням ПЕГ-1000 (б)



*a)*



*б)*

**Рис. 4.** Мікрофотографії систем, які містять немодифіковані ВНТ (а) та модифіковані ВНТ з використанням ПЕГ-10000 (б)

Найбільший вплив на розподіл ВНТ чинить модифікація за допомогою ПЕГ-10000, який має дуже довгу молекулу, яка теоретично здатна обвивати нанотрубку. На рис. 4 приведено мікрофотографії, де простежується такий ефект. З рис. 4 видно, що у випадку модифікації ВНТ за допомогою ПЕГ-10000, їх розподіл є максимально рівномірним, про що свідчить повне затемнення області спостереження.

Варто також відмітити, що подібна поведінку у розподілі ВНТ спостерігається на різних масштабних рівнях. Це свідчить про те, що дані системи проявляють масштабну інваріантність, а їх структуру можна описати у рамках фрактального підходу.

#### **Фрактальна розмірність ПЕГ-функціоналзованих ВНТ**

Мікрофотографії, приведені на рис. 2-4 аналізували у рамках фрактального підходу. Вико-



ривуючи формули (1) та (2) розраховували значення фрактальної розмірності. Значення фрактальної розмірності для досліджуваних систем із різним типом модифікації ВНТ приведені у табл. 1.

Отже, чим ближче значення фрактальної розмірності до 3, то більш рівномірний розподіл ВНТ у досліджуваних зразках. Із табл. 1 видно, що Фрактальна розмірність досліджуваних систем змінюється і залежить як від самого процесу модифікації, так і від типу модифікатора (молекулярної маси макромолекули ПЕГ). Для немодифікованих ВНТ, введених у полімерну матрицю значення  $d_f$  варіюється у межах 2,80-2,83. Теоретично, значення фрактальної розмірності не змінюється зі зміною масштабу. Однак, як видно із таблиці, значення фрактальної розмірності змінюються у межах похибки, яка виникла у процесі аналізу мікрофотографій. Усереднене значення  $d_f$  для систем із немодифікованими ВНТ становить 2,82, що свідчить про помірний ступінь агрегації. Для модифікованих ВНТ значення  $d_f$  значно більше, і у випадку модифікації за допомогою ПЕГ-400 досягає середнього значення 2,88, а у випадку ПЕГ-1000 – 2,89. Збільшення фрактальної розмірності є прямим свідченням зростання ступеня дисперсності наповнювача.

Для нанотрубок, функціоналізованих за допомогою ПЕГ-10000  $d_f$  досягає значення 2,99, що є дуже близьким до 3 (заповнення всього об'єму матеріалу). З таблиці 1 також видно тенденцію впливу різних модифікаторів на розподіл ВНТ. Так з використанням ПЕГ-400, молекула якого є найменшою із використаних поліетерів, значення фрактальної розмірності найменше. Це свідчить про гірший розподіл ВНТ, порівняно із нанотрубками, стабілізованими з використанням ПЕГ-10000.

#### Аналіз розподілу ПЕГ-функціоналізованих ВНТ.

З рис. 2-4 видно, що агрегати з ВНТ формуються у вигляді двох «квазіфаз»: розпушеної з добре розвинутою (сірі області фази напо-

внювача) та щільною (темні області) поверхнями. За допомогою програми ImageJ v 1.41., у результаті обробки зображень, можна отримати розподіл інтенсивності відтінків сірого кольору (номера відтінків від 0 до 255) для мікрофотографій досліджуваних систем. Із такого розподілу можна судити про щільність агрегатів ВНТ, які утворюються у системах на основі поліетерів (Яковлев, 2014).

На рис. 5 приведені результати обробки мікрофотографій для функціоналізованих та нефункціоналізованих ВНТ. Видно, що криві для нефункціоналізованих ВНТ мають унімодальний характер, спостерігаються інтенсивний максимум, який відповідає номеру відтінку для дуже близького до чорного кольору. Це вказує на формування щільних агрегатів. Для ВНТ, модифікованих за допомогою ПЕГ-400 та ПЕГ-1000 спостерігається менш інтенсивний максимум, зсунутий в область сірих кольорів, що вказує на присутність лише розпушених агрегатів з ВНТ, а щільні агрегати практично відсутні на що вказує єдиний максимум на кривій розподілу. Для системи, модифікованої за допомогою ПЕГ-10000 не вдалося провести обробку, адже через дуже високий розподіл не спостерігалось відтінків агрегатів.

Враховуючі отримані вище результати, можна запропонувати схему взаємодії вуглецевої нанотрубки з молекулою ПЕГ (рис. 6).

При функціоналізації ВНТ за допомогою ПЕГ-400 відбувається нековалентна взаємодія короткої молекули, яка торкається лише одним кінцем до нанотрубки. У випадку використання як модифікатора ПЕГ-1000, останній фізично з'єднується з нанотрубкою декількома мономерними ланками і, фактично розміщується на поверхні ВНТ. При використанні ПЕГ-10000, який має дуже довгу молекулу відбувається обвивання нанотрубки молекулою. Такий тип взаємодії є більш надійним та приводить до більш стабільної дисперсії ВНТ та більш рівномірного їх розподілу.

Таблиця 1

#### Значення фрактальної розмірності для систем, які містять різні типи ВНТ

Модифікатор	Немодифіковані ВНТ	Модифіковані ВНТ
ПЕГ-400	2,80 ± 0,5	2,88 ± 0,3
ПЕГ-1000	2,81 ± 0,3	2,89 ± 0,5
ПЕГ-10000	2,83 ± 0,5	2,99 ± 0,3

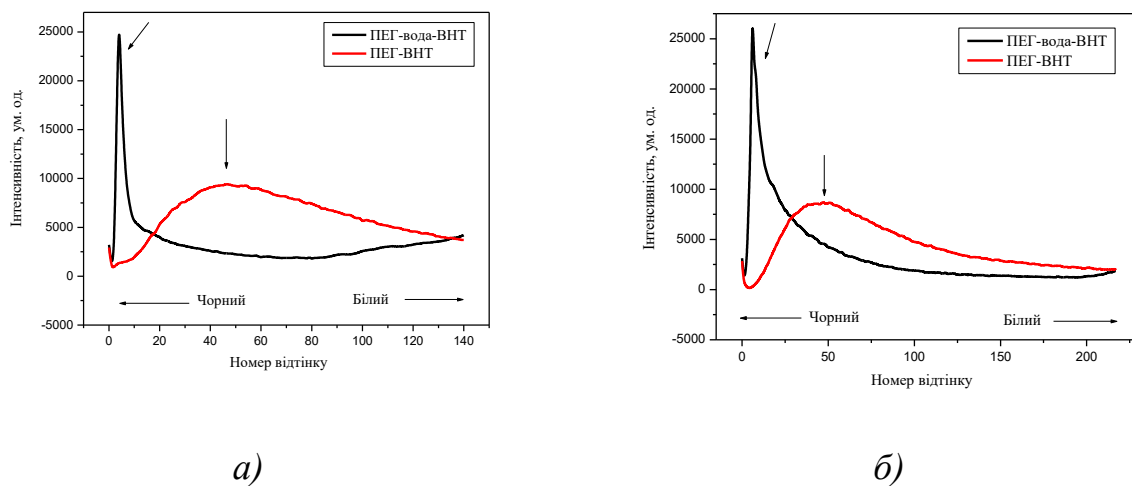


Рис. 5. Розподіл агрегатів ВНТ за щільністю, залежно від типу модифікатора:  
а – ПЕГ-400, б – ПЕГ-1000

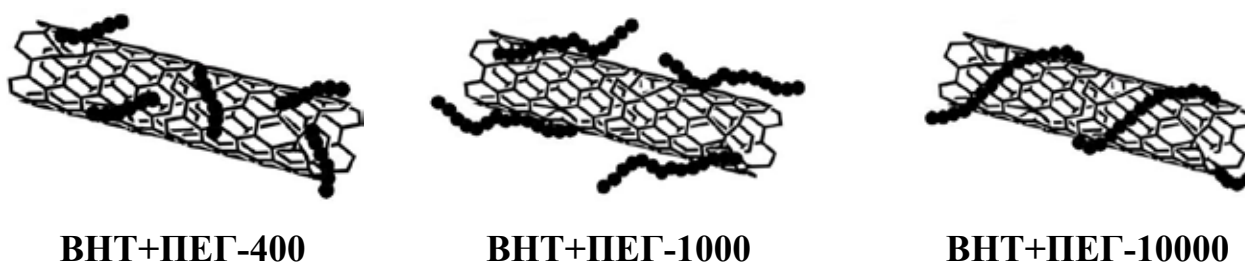


Рис. 6. Схематичне зображення нековалентної взаємодії вуглецевої нанотрубки з полімером

### Висновки

На підставі проведених досліджень було вивчено вплив нековалентної модифікації та молекулярної маси макромолекули поліетиленгліколю на характер взаємодії і розподіл вуглецевих нанотрубок у полімерній матриці. Виявлено, що введення модифікатора значно змінює фрактальну розмірність ВНТ. Значення фрактальної розмірності для модифікованих ВНТ наближається до 3, що свідчить про зростання рівномірності розподілу ВНТ. При модифікації ВНТ їхні кластери стають більш розпушеними. Показано, що фазова структура агрегатів ВНТ змінюється залежно від типу модифікатора. Найвищу стабілізуючу дію чинить модифікатор на основі ПЕГ-10000.

При цьому ВНТ найбільш рівномірно розподіляються по об'єму матеріалу. Запропоновано схему взаємодії вуглецевої нанотрубки з молекулою ПЕГ. При функціоналізації за допомогою ПЕГ відбувається нековалентна взаємодія молекул з поверхнею ВНТ. Зроблено припущення, що коротка молекула ПЕГ-400 взаємодіє з ВНТ одним кінцем, більш довша молекула ПЕГ-1000 – декількома ланками, а найдовша молекула ПЕГ-10000 обвиває ВНТ, тому є найбільш ефективним стабілізатором. Модифікація ВНТ за допомогою ПЕГ є перспективним методом збільшення ступеня розподілу нанотрубок у полімерній матриці, що буде значно поліпшувати властивості таких нанокомпозитних матеріалів.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Shoukat R., Khan M.I. Carbon nanotubes: a review on properties, synthesis methods and applications in micro and nanotechnology. *Microsyst. Technol.* 2021. Vol. 27. P. 4183–4192.
2. Iqbal A., Saeed A., Ul-Hamid A. A review featuring the fundamentals and advancements of polymer/CNT nanocomposite application in aerospace industry. *Polym. Bull.* 2021. Vol. 78. P. 539–557.
3. Baowan D., Ruengrot P., Hill J.M., Bacsa W. The effect of non-covalent functionalization on the interaction energy of carbon nanotubes. *J. Phys. Commun.* 2019. Vol. 3. P. 035018.

4. Vaisman L., Marom G., Wagner H.D. Dispersions of surface-modified carbon nanotubes in water-soluble and water-insoluble polymers. *Advanced Functional Materials*. 2006. Vol. 16. P. 357–363.
5. Nuriel S., Liu L., Barber A.H., Wagner H.D. Direct measurement of multiwall nanotube surface tension. *Chemical Physics Letters*. 2005. Vol. 404. P. 263–266.
6. Kubota S., Maruyama T., Nishikiori H., Tanaka N., Endo M., Fujii T. Spectroscopic evaluation of the length of poly(ethylene glycol) covalently attached to multiwalled carbon nanotubes. *Chemistry Letters*. 2009. Vol. 38. P. 890–891.
7. Wen Y., Wu H., Chen S., Lu Y., Shen H., Jia N. Direct electrochemistry and electrocatalysis of hemoglobin immobilized in poly(ethylene glycol) grafted multi-walled carbon nanotubes. *Electrochimica Acta*. 2009. Vol. 54. P. 7078–7084.
8. Klepko V.V., Lysenkov E.A. Features of percolation transition in systems on the basis of oligoglycols and carbon nanotubes. *Ukrainian Journal of Physics*. 2015. Vol. 60 (9). P. 944–949.
9. Lysenkov E.A., Klepko V.V., Yakovlev Yu.V. Influence of the Filler's Size on the Percolation Behavior in the Polyethylene Glycol/Carbon Nanotubes System. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2015. Vol. 7 (1). P. 01031.
10. Feder J. *Fractals*. Springer: Science & Business Media. 2013. 284 p.
11. Лисенков Е.А., Стрюцький О.В., Бохван С.І., Клепко В.В. Вплив кінцевих гідроксильних груп на перколяційну поведінку систем на основі олігоетиленгліколю та вуглецевих нанотрубок. *Полімерний журнал*. 2017. Т. 39, № 2. С. 75–82.
12. Яковлев Ю.В., Клепко В.В., Лисенков Е.А. Особливості перколяційної поведінки в системі ПЕГ400/КНТ: вплив режимів змішування. *Полімерний журнал*. 2014. Т. 36, № 1. С. 53–56.

#### REFERENCES:

1. Shoukat, R., Khan, M.I. (2021). Carbon nanotubes: a review on properties, synthesis methods and applications in micro and nanotechnology. *Microsyst. Technol.* 27, 4183–4192.
2. Iqbal, A., Saeed, A., Ul-Hamid, A. (2021). A review featuring the fundamentals and advancements of polymer/CNT nanocomposite application in aerospace industry. *Polym. Bull.* 78, 539–557.
3. Baowan, D., Ruengrot, P., Hill, J.M., Bacsá, W. (2019). The effect of non-covalent functionalization on the interaction energy of carbon nanotubes. *J. Phys. Commun.* 3, 035018.
4. Vaisman, L., Marom, G., Wagner, H.D. (2006). Dispersions of surface-modified carbon nanotubes in water-soluble and water-insoluble polymers. *Advanced Functional Materials*. 16, 357–363.
5. Nuriel, S., Liu, L., Barber, A.H., Wagner, H.D. (2005). Direct measurement of multiwall nanotube surface tension. *Chemical Physics Letters*. 404, 263–266.
6. Kubota, S., Maruyama, T., Nishikiori, H., Tanaka, N., Endo, M., Fujii, T. (2009). Spectroscopic evaluation of the length of poly(ethylene glycol) covalently attached to multiwalled carbon nanotubes. *Chemistry Letters*. 38, 890–891.
7. Wen, Y., Wu, H., Chen, S., Lu, Y., Shen, H., Jia, N. (2009). Direct electrochemistry and electrocatalysis of hemoglobin immobilized in poly(ethylene glycol) grafted multi-walled carbon nanotubes. *Electrochimica Acta*. 54, 7078–7084.
8. Klepko, V.V., Lysenkov, E.A. (2015). Features of percolation transition in systems on the basis of oligoglycols and carbon nanotubes. *Ukrainian Journal of Physics*. 60 (9), 944–949.
9. Lysenkov, E.A., Klepko, V.V., Yakovlev, Yu.V. (2015). Influence of the Filler's Size on the Percolation Behavior in the Polyethylene Glycol/Carbon Nanotubes System. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 7(1), 01031.
10. Feder, J. (2013). *Fractals*. (Springer: Science & Business Media). 284 p.
11. Lysenkov, E.A., Striutsky, O.V., Bohvan, S.I., Klepko, V.V. (2017). Vplyv kintsevykh hidroksyl'nykh hrup na perkolyatsiynu povedinku system na osnovi olihoetylenhlikolyu ta vuhletsevykh nanotrubok. [Effect of end hydroxyl groups on the percolation behavior of systems based on oligoethylene glycol and carbon nanotubes]. *Polimernyy zhurnal – Polymer Journal*. 39 (2), 75–82 [in Ukrainian].
12. Yakovlev, Yu.V., Klepko, V.V., Lysenkov, E.A. (2014). Osoblyvosti perkolyatsiynoyi povedinky v systemi PEH400/KNT: vplyv rezhymiv zmishuvannya [Peculiarities of percolation behavior in the PEG400/CNT system: the influence of mixing modes]. *Polimernyy zhurnal – Polymer Journal*. 36 (1) 53–56 [in Ukrainian].

УДК 502:504

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-7>

**Юлія НАКОНЕЧНА**

аспірант кафедри екології та охорони довкілля, Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, м. Одеса, Україна, 65016

**ORCID:** 0000-0001-7903-8703

**Ангеліна ЧУГАЙ**

доктор технічних наук, професор, декан природоохоронного факультету, Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, м. Одеса, Україна, 65016

**ORCID:** 0000-0002-8091-8430

**Бібліографічний опис статті:** Наконечна, Ю., Чугай, А. (2022). Гідроморфологічні та гідрохімічні особливості річки Чичиклія. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 52–60, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-7>

## ГІДРОМОРФОЛОГІЧНІ ТА ГІДРОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РІЧКИ ЧИЧИКЛІЯ

Річка Чичиклія є природним регулятором водного балансу гідрологічної системи у складі поверхневих водойм, підземних водних горизонтів, ґрунтів. Басейнова територія річки характеризується високим рівнем агрогосподарчої трансформації. Публікації щодо морфологічних, геологічних, гідрологічних і гідроекологічних особливостей р. Чичиклія обмежені. У роботі наведено результати дослідження гідроморфологічних характеристик р. Чичиклія та сучасного гідрохімічного стану вод. Виконано оцінку придатності вод річки для цілей зрошення. Вихідними матеріалами роботи є результати власних досліджень, виконаних у 2020 – 2022 рр., картографічні матеріали. Польові дослідження проведено в різні сезони при різних режимах водності водотоку. Отримано, що гідроморфологічний стан русла і заплави річки характеризується просторово-локальною та сезонною нерівномірністю. Води р. Чичиклія відрізняються змінними умовами розподілу гідрохімічних показників по сезонах і у просторі. Так, відзначаються високі рівні жорсткості, надмірна каламутність і значний вміст завислих речовин. Це свідчить про надвисокі обсяги збагаченого органікою і детритом стоку, що містить основні біогенні речовини. Відзначається підвищена присутність нітратів і сполук фосфору, рівень вмісту яких зростає саме при повенях. За результатами гідрохімічних спостережень перевищення ГДК відзначалось за показниками мінералізації, вмістом сульфатів, калію, магнію і фосфатів переважно у листопаді 2020 р. Відповідно до виявленої просторової динаміки падіння висот річища та зміни гідрохімічних показників вод на різних ділянках р. Чичиклія вона умовно поділяється на 4 ділянки. Оцінка придатності вод річки для зрошення за вмістом солей натрію, кальцію і магнію свідчить про можливість їх відповідного цільового використання. У сучасних умовах р. Чичиклія виконує роль природного регулятора накопичення і перерозподілу вологи та забезпечує питні потреби населення.

**Ключові слова:** гідроморфологічні особливості, зрошення, гідрохімічні показники, оцінка.

**Yuliia NAKONECHNA**

Postgraduate Student of the Department of Environmental Science and Environmental Protection, Odesa State Environmental University, Lvivska str., 15, Odesa, Ukraine, 65106

**ORCID:** 0000-0001-7903-8703

**Angelina CHUGAI**

Doctor of Science (Technical), Professor, Dean of Nature Protection Faculty, Odesa State Environmental University, Lvivska str., 15, Odesa, Ukraine, 65106

**ORCID:** 0000-0002-8091-8430

**To cite this article:** Nakonechna, Yu., Chugai, A. (2022). Hidromorfolohichni ta hidrokhimichni osoblyvosti richky Chychykliia [Hydromorphological and hydrochemical features of Chichikliya river]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 52–60, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-7>

## HYDROMORPHOLOGICAL AND HYDROCHEMICAL FEATURES OF CHICHIKLIYA RIVER

*The Chichikliya River is a natural regulator of the water balance of the hydrological system in the composition of surface water bodies, underground water horizons, and soils. The basin area of the river is characterized by a high level of agricultural transformation. Publications on the morphological, geological, hydrological and hydroecological features of the Chichikliya River are limited. The paper presents the results of the study of the hydromorphological characteristics of the Chichikliya River and the current hydrochemical state of the waters. An assessment of the suitability of the river waters for irrigation purposes was carried out. The starting materials of the work are the results of own research carried out in 2020-2022, cartographic materials. Field studies were carried out in different seasons under different water regimes of the watercourse. It was found that the hydromorphological state of the river bed and floodplain is characterized by spatial-local and seasonal unevenness. The waters of the Chichikliya River differ in the changing conditions of the distribution of hydrochemical indicators by season and space. Thus, high levels of hardness, excessive turbidity and a significant content of suspended substances are noted. This indicates extremely high volumes of runoff enriched with organic matter and detritus, containing the main biogenic substances. There is an increased presence of nitrates and phosphorus compounds, the level of which increases precisely during floods. According to the results of hydrochemical observations, the exceedance of the MPC was noted for indicators of mineralization, the content of sulfates, potassium, magnesium and phosphates mainly in November 2020. According to the revealed spatial dynamics of the drop in the height of the river and changes in the hydrochemical parameters of the waters in different sections of the Chichikliya River, it is conditionally divided into 4 sections. Assessment of the suitability of river waters for irrigation based on the content of sodium, calcium and magnesium salts indicates the possibility of their appropriate targeted use. In modern conditions, the Chichikliya River performs the role of a natural regulator of moisture accumulation and redistribution and provides the drinking needs of the population.*

**Ключові слова:** *hydromorphological features, irrigation, hydrochemical indicators, assessment.*

**Вступ.** Витоки р. Чичиклія, що протікає в межах північно-західних районів Миколаївської області, знаходяться на південних відрогах Подільської височини, відділених від її західного масиву широтно розташованою долиною р. Кодима. Функціонально – це дренуючий водотік північно-східної частини Тилігуло-Бузького межиріччя, утворений поєднанням декількох дрібно-локальних гідрографічних мереж (рис. 1). Водозбірна площа річки являє собою акумулятивно-денудаційну, слабо нахилену на південний схід одноманітну лесову рівнину, покрану глибокими балками та ярами (густота ерозійного розчленування 0,4 км/км<sup>2</sup>) при середній крутизні схилів – 7 – 12 ° (максимум 16°).

Живлення Чичиклії переважно снігове, що спричиняє сезонний характер проточності, динаміка якого прямо залежить від кліматичних особливостей року. Сучасні параметри водності невідомі, проте в кінці минулого сторіччя під час весняного повноводдя (березень) обсяг витрат води, фіксованих на гідропосту с. Мостове коливався від 1,9 м<sup>3</sup>/с (1973 р.) до 318 м<sup>3</sup>/с (1969 р.) (Многолетние данные..., 1985).

Всі ланки гідрографічної мережі р. Чичиклія належать Тилігуло-Бузькому межиріччю, водовідведення з якого забезпечено розвинутою річково-балковою системою, «успадкованою» з плейстоцену. Специфіка місцевого

орогенезису зумовлює переважання форм флювіального рельєфу, який в умовах безхмарного неба і високої вітрової активності стимулює інтенсивне випаровування схилового стоку. Наслідком є незворотні втрати більшої частини атмосферної вологи, що є досить відчутним на фоні дефіциту літніх опадів (від 17 до 140 – 210 мм) та негативного водного балансу місцевості (Гопченко, Лобода, 2005). Нестача вологи в поєднанні з літологічною і гідрогеологічною структурою річкової долини визначають основні характеристики водотоку – проточність, сезонні та просторові зміни водності, гідрохімічний склад, вплив підземного живлення, стан зволоженості, біотопічну структуру заплави тощо. Також обводненість окремих ділянок річки навіть у межах одного сезону настільки нерівномірною, що пояснити їх лише просторовою специфікою співвідношень «поверхневий стік – інфільтраційні втрати» неможливо.

Окрім цього, в умовах сезонної проточності р. Чичиклія на протязі року утримує підземний стік, локалізований в алювіальних товщах терас і тальвегу, забезпечуючи через колодязі та свердловини питні потреби місцевого населення. Підземні води в межах водозбору, проявляючи гідравлічний зв'язок з поверхневими водами, формують єдиний підземний горизонт, дренований долиною Чичиклії та суміжними балками (Шинкаревський, Рубан, 2005). Тому



Рис. 1. Розташування та межі басейну р. Чичиклія

поверхневий вододефіцит у межах водозбору не лише припиняє стокове живлення і проточність річки, а в значній мірі гальмує поповнення, водний баланс і нормалізацію гідрохімічного режиму підземних водних горизонтів, задіяних на Чичиклію.

Так, досліджуваний водотік забезпечує не лише водовідведення і дренацію степових місцевостей, а в більшій мірі є природним регулятором водного балансу динамічної гідрологічної системи у складі поверхневих водойм, підземних водних горизонтів, ґрунтів тощо. Враховуючи високий рівень агрогосподарчої трансформації басейнової території, проведення обстежень умов функціонування з метою оцінки стану р. Чичиклія є актуальною задачею.

Огляд публікацій щодо морфологічних, геологічних, гідрологічних і гідроекологічних особливостей р. Чичиклія демонструє їх обмеженість. Недостатня вивченість загалом закономірна для річок Тилігуло-Бузького межиріччя, що являють собою переважно сезонно-тимчасові водотоки без особливих водогосподарчих перспектив. Основні характеристики їх водності, гідрохімічного складу води і сезонної динаміки стоку відомі лише з гідрологічних довідників минулого сторіччя (Ресурси..., 1978). Деяко більш об'ємними є звітні дані щодо розвідки та оцінки підземних водних запасів у басейні р. Чичиклія, представлені в звітах організацій (Федосова, 1992) і в щоріч-

никах Державної служби геології та надр України (2021, 2019).

Окремі характеристики даного водотоку, як притоки Південного Бугу, наведені у роботах В.М. Тимченко (1990), В.К. Хільчевського зі співавторами (2009, 2014, 2019), О.О. Ухань зі співавторами (2015, 2016). Поточні оперативно-ситуаційні дані щодо стану річки та її вод періодично розміщуються на офіційних сайтах Регіонального офісу водних ресурсів Миколаївської області і Басейнового управління водних ресурсів р. Південний Буг. Проте новітні публікації саме по Чичиклії, за винятком роботи (Єна, 2018) щодо оцінок бактеріологічного забруднення річкової води, практично відсутні.

**Матеріали і методи досліджень.** Враховуючи маловодність, значну величину водозбору та значимість р. Чичиклія в системі водозабезпечення місцевого населення, метою роботи є дослідження гідроморфологічних характеристик водотоку та сучасного гідрохімічного стану вод.

Вихідними матеріалами роботи є результати власних досліджень, виконаних у 2020 – 2022 рр., а також дані літературних і фондových джерел інформації. Крім того, використані картографічні матеріали зі спеціалізованих сайтів. Дані щодо рельєфу, орографії, пересічних і абсолютних висот досліджуваної місцевості фіксовані на основі використання геоportалу Gis Map Server, версія mapserver 7.0.7

(MapServer, 2018). Для картографування польових маршрутів і реперних точок у зоні досліджень використані можливості кроссплатформеної геоінформаційної системи QGIS ver.2.19.2 (QGIS Desktop..., 2022).

Польові, маршрутно-оглядові дослідження проведено в різні сезони при різних режимах водності водотоку. Проби води відбирали у верхів'ях (ставок с. Краснопіль), у середній ділянці (околиця смт. Миколаївка і ставок в смт. Веселинове) і в пониззі (с. Покровка). Хімічний аналіз відібраних проб виконували в спеціалізованій лабораторії води, сертифікованої на відповідність вимогам ДСТУ ISO/IEC 17025 (структурний підрозділ кафедри екологічної хімії Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв).

Для оцінки придатності вод для зрошення були використані відомі методики. Так, води за рівнем безпеки осолонцювання І.М. Антипов-Каратаєв і Г.М. Кадер запропонували виконувати за таким співвідношенням:

$$K = (Ca^{2+} + Mg^{2+}) / Na^{+} \geq 0,23M, \quad (1)$$

де  $M$  – загальна мінералізація води, г/дм<sup>3</sup>;  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^{+}$  – концентрація катіонів, ммоль/дм<sup>3</sup>.

Так, при  $K < 0,23M$  вода непридатна для зрошення ґрунтів, і можуть початися процеси їх осолонцювання (Сніжко, 2001).

Департамент сільського господарства США пропонує визначати коефіцієнт осолонцювання  $SAR$  за формулою (Сніжко, 2001):

$$SAR = rNa^{+} / [(rCa^{2+} + rMg^{2+}) / 2]^{0.5}, \quad (2)$$

де  $rNa^{+}$ ,  $rCa^{2+}$ ,  $rMg^{2+}$  – концентрація катіонів солей, мг-екв/дм<sup>3</sup>.

При значенні  $SAR \leq 10$  – вода доброї якості (низька небезпека осолонцювання ґрунтів);  $10 < SAR \leq 18$  – середньої якості (середня небезпека осолонцювання);  $18 < SAR \leq 25$  – незадовільної якості (висока небезпека осолонцювання);  $SAR > 25$  – вода дуже незадовільної якості (дуже висока небезпека осолонцювання).

#### Результати дослідження та їх обговорення.

На основі маршрутно-польових обстежень гідрографічної мережі р. Чичиклія, виконаних в умовах різних режимів водності, встановлено, що реальна гідроморфологічна специфіка верхньої частини водотоку потребує суттєвої деталізації. Так, при виконанні оглядових маршру-

тів навесні та влітку 2021 р. в умовах значного дощового зволоження (+56 % до середніх багаторічних) виявлено, що суходільне верхів'я річки має не одну, а три основних гілки.

Влітку 2021 р. всі гілки витоків, започаткованих у місцях виходу підземних вод, демонстрували струмково-проточний режим і бурхливий розвиток рослинного покриву. Найвище розташовані витoki фіксовані на висотах 193, 190 і 188 м за декілька метрів на південь від лінії водорозділу з басейном р. Кодима (рис. 2). Цій межі на місцевості чітко відповідає розташування насипу двосторонньої залізничної колії між станціями Солтановка-Любашівка-Болгарка. Поряд, за 350 – 300 м на захід від правої гілки витоків р. Чичиклія відзначені аналогічні лощини водовідведення, але спрямовані вже на ліві витoki р. Тилігул (басейн річок Причорномор'я).

Загалом, вся верхня частина річкової долини украй мінлива за показниками зволоження, що визначається впливом підземного живлення. Також неоднорідність верхньої частини водотоку є свідченням її залежності від геоморфологічної та гідрогеологічної специфіки окремих ділянок.

Гирло річки знаходиться поблизу с. Покровка Веселинівського району – в плавнях правого берегу р. Південний Буг, на 187 м нижче від рівня витоків. Польовими дослідженнями встановлено, що сучасний рельєф басейнової території р. Чичиклія, сформований в умовах переважання довготривалих ерозійно-денудаційних знижень (Палієнко та ін., 2005), відрізняє переважання акумулятивних форм. Їх природний розвиток упродовж минулого сторіччя був стимульований польовою трансформацією степів, оранка яких започаткувала посилену ерозійно-делювіальну міграцію ґрунту до понижень рельєфу. Активні водно-ерозійні процеси в полях на лесовому підґрунті зумовили потужні розмиви схилівих земель і посилення яружності. Незворотні втрати вологи через випаровування зумовлені й чисельними ставками, створеними в долині річки та на її притоках із метою водонакопичення та регуляції стоку.

Потрібно також відзначити, що в останні роки процеси водно-ерозійної деградації схилівих земель набувають розширення. При загально-великій частці оранки в структурі

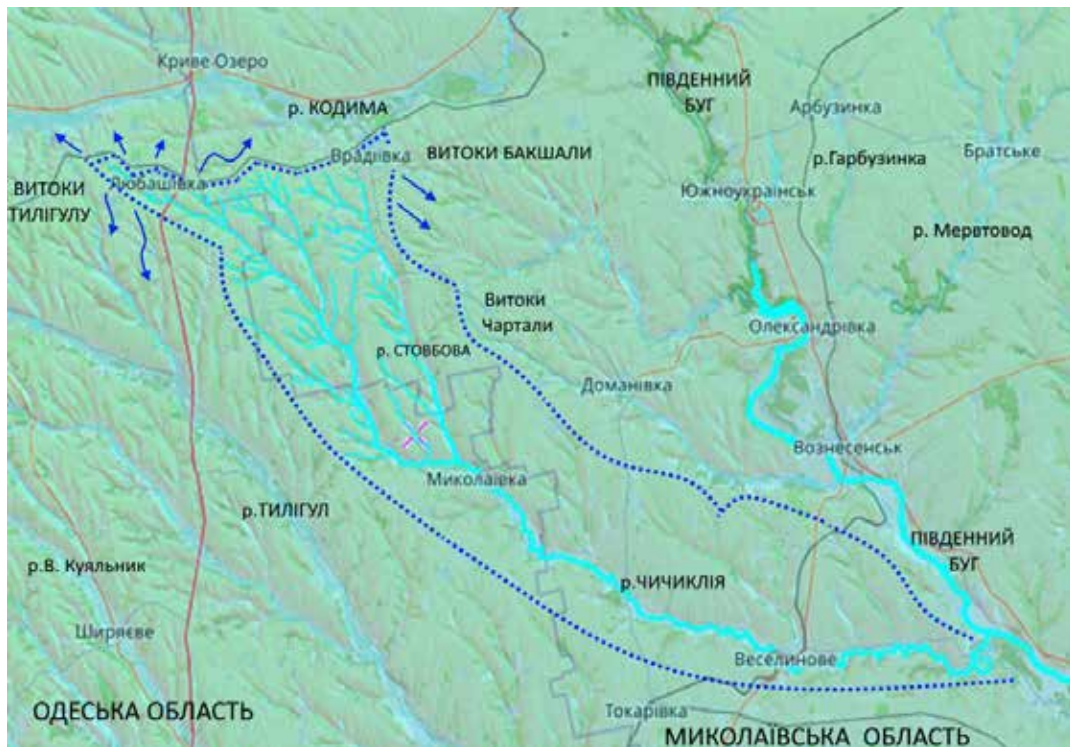


Рис. 2. Мережа витоків р. Чичиклія та межі її водозбору (пунктирна лінія блакитного кольору) (Мета. Карти України, 2022)

земельних угідь (67 – 72 %) території водозбору, де переважає флювіальний рельєф, змив чорнозему місцями перевищує 10 т/га (Сташук та ін., 2014).

Також, специфіка просторового розташування витоків і гирла р. Чичиклія є причиною формування в ґрунтах заплави і тальвегу міграційного коридору для ґрунтово-сольових розчинів, які потрапляють із поверхневим і підземним стоком. Рівні накопичення ґрунтово-сольових сполук закономірно зростають вниз за течією і найбільшої потужності набувають у пониззі. Це може спричинити зростання мінералізації ґрунтів і забруднення підземних горизонтів саме в нижніх ділянках руслової мережі.

Гідрохімічні дослідження вод р. Чичиклія проводились за вмістом 15 показників якості вод. Загальний аналіз показав, що води річки характеризуються високими рівнями жорсткості, надмірною каламутністю і значним вмістом завислих речовин (від 190 до 810 мг/дм<sup>3</sup>). Вказані особливості акцентують увагу щодо надвисоких обсягів збагаченого органікою і детритом стоку, який містить основні біогенні речовини. Відзначається підвищена присутність нітратів і сполук фосфору, рівень вмісту яких зростає саме при повенях. У разі

їх потрапляння з антропогенних джерел (стоки з населених пунктів) вони мали б позитивну динаміку вмісту в меженний період. Потрібно також відмітити, що гідрохімічні властивості вод р. Чичиклія як сезонно проточної річки важко піддаються статичним узагальненням, оскільки цілісний водотік існує лише в період водопілля.

На рис. 3 – 7 наведено графіки зміни концентрацій окремих показників, по яких відзначались перевищення *ГДК*. Як видно, за показниками мінералізації (рис. 3), вмісту сульфатів (рис. 4) і калію (рис. 6) перевищення відзначались лише у листопаді 2020 р. Вміст магнію (рис. 5) також був підвищений в інші періоди в районі смт. Миколаївка. Вміст фосфатів (рис. 7) перевищував нормативи в тому числі у березні і квітні 2021 р. у верхів'ї і середній частині річки.

Відповідно до виявленої просторової динаміки падіння висот річища та зміни гідрохімічних показників вод на різних частинах руслової системи Чичиклії, її можливо умовно поділити на 4 ділянки (рис. 8) з поділом першої на 3 субділянки А, Б, С.

Також отримані дані щодо вмісту окремих гідрохімічних показників дозволили нам вико-



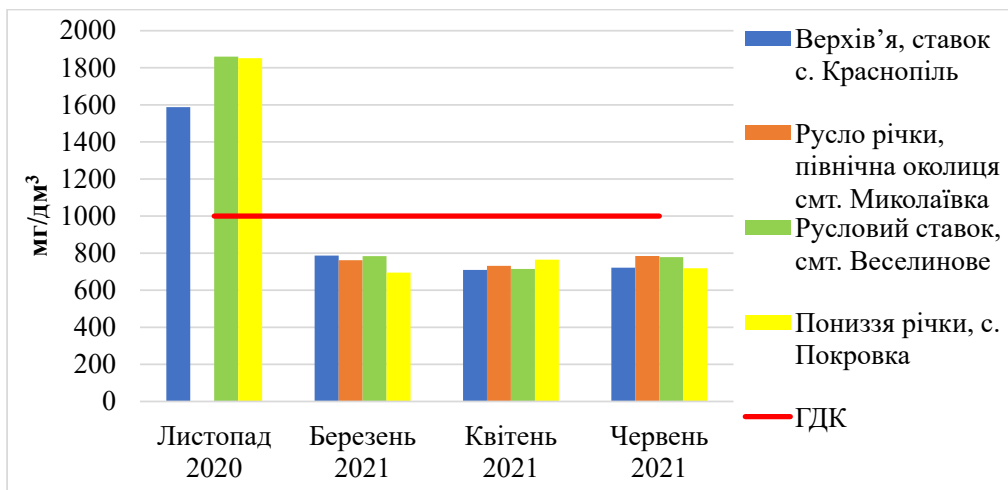


Рис. 3. Мінералізація вод р. Чичиклія

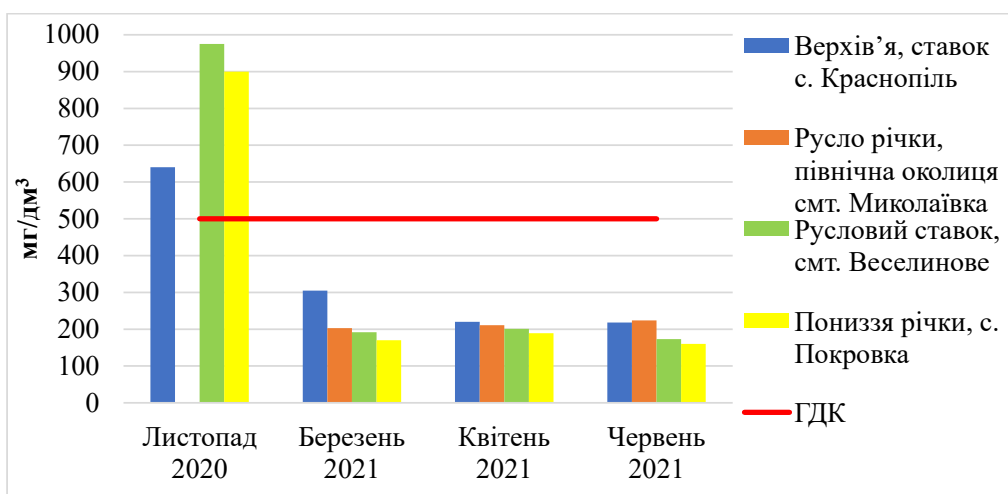


Рис. 4. Вміст сульфатів у водах р. Чичиклія

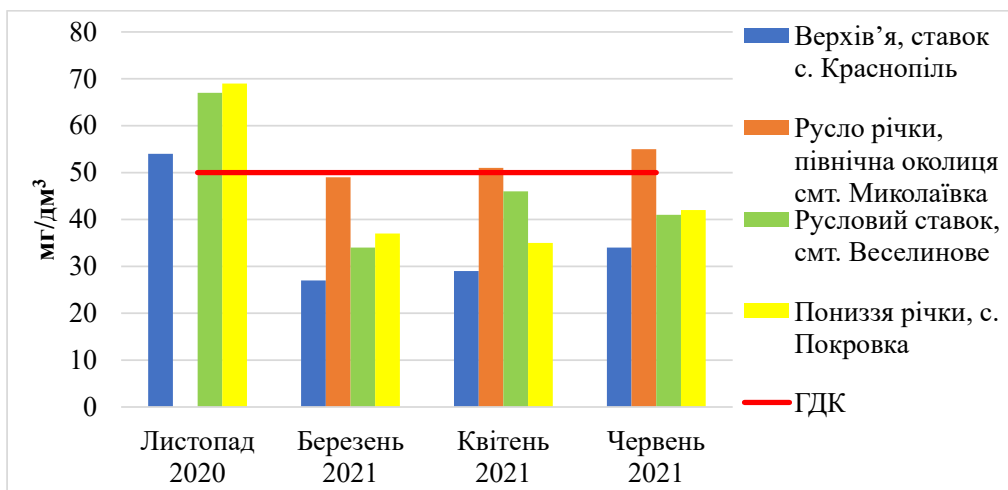


Рис. 5. Вміст магнію у водах р. Чичиклія

нати оцінку придатності вод р. Чичиклія для зрошення. Так, отримано, що показник  $K = 1,91$ , і це значення більше  $0,23M (0,999 \text{ г/дм}^3)$ . Тобто вода є придатною для цілей зрошення.

Також значення показника  $SAR \leq 10 (1,05)$ , що також свідчить, що вода р. Чичиклія характеризується як вода доброї якості з низькою небезпекою до осолонцювання.

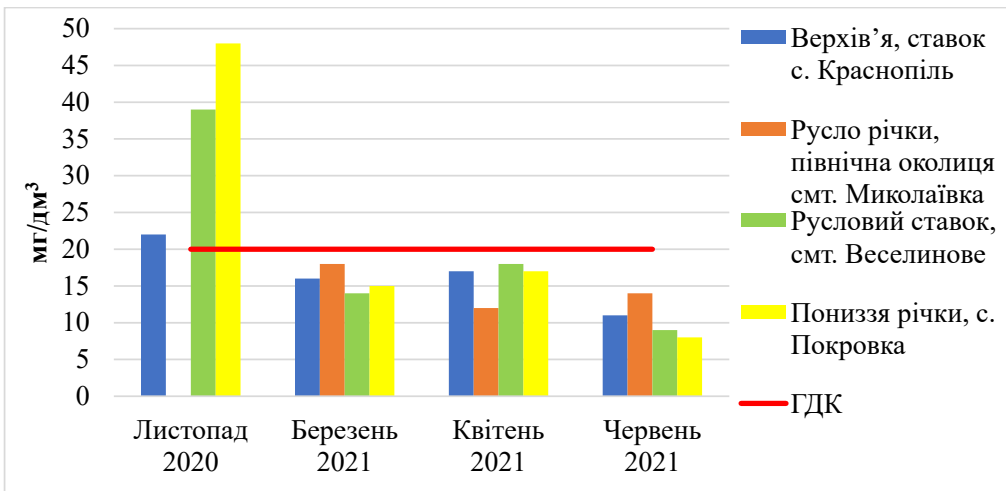


Рис. 6. Вміст калію у водах р. Чичиклія

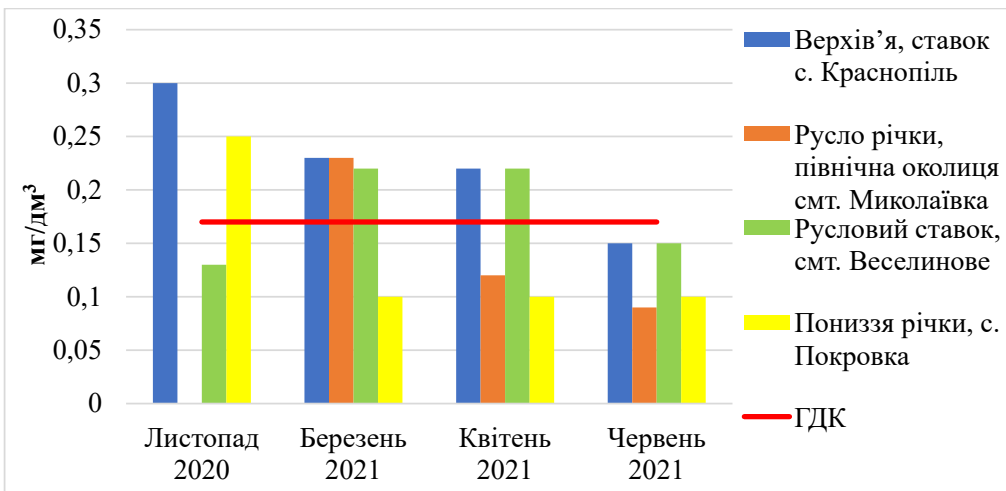


Рис. 7. Вміст фосфатів у водах р. Чичиклія



Рис. 8. Умовний поділ р. Чичиклія на геоморфологічно та гідрохімічно різні ділянки (OSM..., 2022)

Зрозуміло, що використання вод річки для зрошення значних площ не розглядається, оскільки, як зазначалось вище, запаси вод на протязі року є вкрай нерівномірними.

#### Висновки.

1. Річка Чичиклія являє собою просторово та сезонно нестабільний комплекс у вигляді каскаду суходільних і обводнених ділянок.

2. Гідроморфологічний стан русла і заплави річки відрізняє виражена просторово-локальна та сезонна нерівномірність, зумовлена комплексом кліматичних і гідрогеологічних умов.

3. Води р. Чичиклія відрізняються змінним просторовим і сезонним розподілом гідрохімічних показників, що залежить від проточності та

кліматичних умов конкретної ділянки водотоку. За результатами гідрохімічних спостережень перевищення *ГДК* відзначалось за показниками мінералізації, вмістом сульфатів, калію, магнію і фосфатів.

4. Оцінка придатності вод р. Чичиклія для зрошення за отриманими даними спостережень свідчить про можливість їх відповідного цільового використання.

5. У сучасних умовах р. Чичиклія зберігає роль природного регулятора накопичення і перерозподілу вологи в системі поверхнево/підземного водообміну, забезпечуючи цим питні потреби населення, і слугує однією з останніх природних арен існування місцевої біоти.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Украинская ССР. Бассейны З. Буга, Дуная, Днестра, Ю. Буга. Ленинград, 1985. Т. 2. Вып. 1. 524 с.
2. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Водные ресурсы Северо-Западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях). Киев, 2005. 188 с.
3. Шинкаревський М.А., Рубан С.А. Гідрогеологічні оцінки та прогнози режиму підземних вод України. Київ, 2005. 571 с.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озёр и расчёты основных характеристик их режима. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 1. Западная Украина и Молдавия (без бассейна р. Днестра). Ленинград: Гидрометеоздат, 1978. С. 176 – 179.
5. Федосова Е.В. Детальные поиски подземных вод для водоснабжения Доманевского и Вознесенского районов Николаевской области. Одесса, 1992. 123 с. URL: <https://nadra.gov.ua/bd/reportfzv/53751> (дата звернення: 22.05.2022).
6. Єна М.С. Оцінка антропогенного забруднення водної екосистеми річки Чичиклії. *Таврійський науковий вісник*. 2018. № 100. Т. 1. С. 302 – 306.
7. MapServer. Графічний сервер для програми ГІС 6, Map Draw 2 і Gis Web Client (Documentation Release 7.0.7). The MapServer Team 2018-07-27. URL: <https://download.osgeo.org/mapserver/docs/MapServer-70.pdf> (дата звернення: 14.02.2022).
8. QGIS Desktop – настільна ГІС для створення, редагування, візуалізації, аналізу і публікації геопросторової інформації. URL: <https://www.qgis.org/uk/site/about/features.html> (дата звернення: 14.02.2022).
9. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. Київ: Ніка-Центр, 2001. 262 с.
10. Карти України. URL: <https://map.meta.ua/#zoom=11&lat=47.097&lon=33.21428&base=B00&sl=od-1> (дата звернення: 15.03.2022).
11. Палієнко В.П., Матошко А.В., Барщевський М.Є. Сучасна динаміка рельєфу України. Київ: Наукова думка, 2005. 268 с.
12. Сташук В.А., Мокін В.Б., Гребінь В.В., Чунар'єв О.В. *Наукові засади раціонального використання водних ресурсів України за басейновим принципом: монографія*. Херсон: Грін' Д.С., 2014. С. 48 – 49.
13. OSM. UA. URL: <https://tiles.openstreetmap.org.ua/#11/47.0762/32.7386> (дата звернення: 25.03.2022).

#### REFERENCES:

1. Mnogoletnie dannyye o rezhime i resursah poverhnostnyih vod sushi. Ukrainskaya SSR. Basseynyi Z. Buga, Dunaya, Dnestra, Yu. Buga. (1985). [Long-term data on the regime and resources of land surface waters. Ukrainian SSR. Basins of the W. Bug, Danube, Dniester, S. Bug]. Leningrad, 2 (1). [in Russian]
2. Gopchenko E.D., Loboda N.S. (2005). Vodnyie resursyi Severo-Zapadnogo Prichernomor'ya (v estestvennyih i narushennyih hozyaystvennoy deyatelnostyu usloviyah) [Water resources of the North-Western Black Sea region (in natural and disturbed by economic activity conditions)]. Kiev. [in Russian]
3. Shynkarevskiy M.A., Ruban S.A. (2005). Hidroheolohichni otsinky ta prohnozy rezhymu pidzemnykh vod Ukrainy. [Hydrogeological assessments and forecasts of the underground water regime of Ukraine]. Kyiv. [in Ukrainian]

4. Resursyi poverhnostnyih vod SSSR. Opisanie rek i ozYor i raschYoty osnovnyih karakteristik ih rezhima. T. 6. Ukraina i Moldaviya. Vyip. 1. Zapadnaya Ukraina i Moldaviya (bez basseyna r. Dnestra). (1978). [Resources of surface waters of the USSR. Description of rivers and lakes and calculations of the main characteristics of their regime. T. 6. Ukraine and Moldova. Issue. 1. Western Ukraine and Moldova (without the Dniester river basin)]. Leningrad. [in Russian]
5. Fedosova E.V. (1992). Detalnyie poiski podzemnyih vod dlya vodosnabzheniya Domanevskogo i Voznesenskogo rayonov Nikolaevskoy oblasti. [Detailed search for groundwater for water supply in the Domanevsky and Voznesensky districts of the Mykolaiv region]. Odessa. Retrieved from: <https://nadra.gov.ua/bd/reportfzv/53751>. [in Russian]
6. Iena M.S. (2018). Otsinka antropohennoho zabrudnennia vodnoi ekosystemy richky Chychyklii. [Assessment of anthropogenic pollution of the water ecosystem of the Chichiklia River]. *Tavriiskyi Naukovyi Visnyk – Taurian Scientific Bulletin*, 100 (1), 302 – 306. [in Ukrainian]
7. MapServer. Hrafichniy server dlia prohramy HIS 6, Map Draw 2 i Gis Web Client (Documentation Release 7.0.7). The MapServer Team 2018-07-27. (2018). [MapServer. Graphics server for GIS 6, Map Draw 2 and Gis Web Client (Documentation Release 7.0.7). The MapServer Team 2018-07-27]. Retrieved from: <https://download.osgeo.org/mapserver/docs/MapServer-70.pdf>.
8. QGIS Desktop – nastilna HIS dlia stvorennia, redahuvannia, vizualizatsii, analizu i publikatsii heoprosorovoi informatsii. (2022). [QGIS Desktop – desktop GIS for creating, editing, visualizing, analyzing and publishing geospatial information]. Retrieved from: <https://www.qgis.org/uk/site/about/features.html> [in Ukrainian]
9. Snizhko S.I. (2001). Otsinka ta prohnozuvannia yakosti pryrodnykh vod. [Assessment and forecasting of natural water quality]. Kyiv. [in Ukrainian]
10. Karty Ukrainy. (2022). [Maps of Ukraine]. Retrieved from: <https://map.meta.ua/#zoom=11&lat=47.097&lon=33.21428&base=B00&sl=od-1>. [in Ukrainian]
11. Paliienko V.P., Matoshko A.V., Barshchevskiy M.Ie. (2005). Suchasna dynamika reliefu Ukrainy. [Modern dynamics of the topography of Ukraine]. Kyiv. [in Ukrainian]
12. Stashuk V.A., Mokin V.B., Hrebin V.V., Chunarov O.V. (2014). Naukovi zasady ratsionalnogo vykorystannia vodnykh resursiv Ukrainy za basinovym pryntsyom: monohrafiia. [Scientific principles of rational use of water resources of Ukraine according to the basin principle: monograph]. Kherson. [in Ukrainian]
13. OSM. UA. (2022). Retrieved from: <https://tiles.openstreetmap.org.ua/#11/47.0762/32.7386>.

УДК 547.781 + 547.869

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-8>

**Наталія СЛИВКА**

кандидат хімічних наук, доцент, завідувач кафедри органічної хімії та фармації, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025  
**ORCID:** 0000-0002-3811-7138

**Леся САЛІЄВА**

кандидат хімічних наук, старший викладач кафедри органічної хімії та фармації, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025  
**ORCID:** 0000-0002-1047-8652

**Сергій ГОЛОТА**

кандидат фармацевтичних наук, доцент кафедри органічної хімії та фармації, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025  
**ORCID:** 0000-0002-9892-437X

**Василь ЖИЛКО**

аспірант кафедри органічної хімії та фармації, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

**Дмитро ХИЛЮК**

кандидат фармацевтичних наук, старший викладач кафедри органічної хімії, Люблінський медичний університет, вул. Ал. Рацлавицьке, 1, м. Люблін, Польща, 20-059  
**ORCID:** 0000-0001-9306-7463

**Михайло ВОВК**

доктор хімічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, завідувач відділу механізмів органічних реакцій, директор Інституту органічної хімії НАН України, вул. Мурманська, 5, м. Київ, Україна, 02660  
**ORCID:** 0000-0003-1753-3535

**Бібліографічний опис статті:** Сливка, Н., Салієва, Л., Голота, С., Жилко, В., Хилюк, Д., Вовк, М. (2022). Докінгові дослідження механізму дії потенційного нестероїдного протизапального агента 3-((3,5-дихлорпіридин-2-іл)окси)-3,4-дигідро-2H-бензо[4,5]імідазо[2,1-b][1,3]-тіазину. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 61–68, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-8>

**ДОКІНГОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ДІЇ ПОТЕНЦІЙНОГО НЕСТЕРОЇДНОГО ПРОТИЗАПАЛЬНОГО АГЕНТА 3-[(3,5-ДИХЛОРПІРИДИН-2-ІЛ)ОКСИ]-3,4-ДИГІДРО-2H-БЕНЗО[4,5]-ІМІДАЗО[2,1-B][1,3]ТІАЗИНУ**

Робота присвячена докінговому дослідженню механізму дії потенційного нестероїдного протизапального агента імідазотіазинового типу – 3-[(3,5-дихлорпіридин-2-іл)окси]-3,4-дигідро-2H-бензо[4,5]імідазо[2,1-b][1,3]тіазину. Синтезована сполука **4q** з наперед встановленою високою антиоксидантною активністю була досліджена на стикування однієї молекули відносно іншої – молекулярний докінг. Проведеним експериментом встановлено, що в основі механізму протизапальної активності **4q** лежить неселективний вплив на циклооксигенази першого та другого типу. Згідно з результатами моделювання стикування, наявність атома хлору у молекулі **4q** створює додаткову гідрофобну взаємодію, що збільшує сумарну енергію зв'язування.

Докінговими дослідженнями виявлено, що 3-[(3,5-дихлорпіридин-2-іл)окси]-3,4-дигідро-2H-бензо[4,5]імідазо[2,1-b][1,3]-тіазин **4q** при зв'язуванні з ЦОГ-1 розміщується у гідрофобній кишені, структура якої складається з низки ліпофільних амінокислот: ILE563, VAL349, ALA527, LEU352, TRP387, PHE518, TYR385, TYR348, LEU384. Крім того, сполука **4q** демонструє хороше зв'язування з активним сайтом ЦОГ-2. Зазначена взаємодія реалі-

зується за рахунок гідрофобних взаємодій з рядом амінокислот: VAL509, ALA513, VAL335, LEU370, TRP373 і TYR 371. Проведення докінгових досліджень показало, що 3-[(3,5-дихлорпіридин-2-іл)окси]-3,4-дигідро-2H-бензо[4,5]імідазо[2,1-b][1,3]-тіазин **4q** утворює ряд додаткових зв'язувань із LEU338 (Pi-амід), ALA502 (Pi-алкіл), GLY512 (зв'язок "гідроген-карбон"). Однак, подібно зі зв'язуванням з ферментом ЦОГ-1, тестована сполука **4q** не утворює жодних водневих зв'язків.

Показано, що 3-[(3,5-дихлорпіридин-2-іл)окси]-3,4-дигідро-2H-бензо[4,5]імідазо[2,1-b][1,3]-тіазин **4q**, який продемонстрував у *in silico* докінгових дослідженнях хороше зв'язування з ферментами ЦОГ-1 та ЦОГ-2 навіть без утворення водневих зв'язків, може використовуватися, як ефективний модельний скафолд, для дизайну нових потенційних нестероїдних протизапальних агентів.

**Ключові слова:** 3-[(3,5-дихлорпіридин-2-іл)окси]-3,4-дигідро-2H-бензо[4,5]імідазо[2,1-b][1,3]-тіазин, протизапальна (антиексудативна) активність, докінгові дослідження.

### **Nataliia SLYVKA**

Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Organic Chemistry and Pharmacy, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

**ORCID:** 0000-0002-3811-7138

### **Lesya SALIYEVA**

Ph.D., Senior Lecturer at the Department of Organic Chemistry and Pharmacy, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

**ORCID:** 0000-0002-1047-8652

### **Serhii HOLOTA**

Ph.D., Associate Professor at the Department of Organic Chemistry and Pharmacy, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

**ORCID:** 0000-0002-9892-437X

### **Vasyl ZHYLKO**

Postgraduate Student at the Department of Organic Chemistry and Pharmacy, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

### **Dmytro KHYLUK**

Ph.D., Senior Lecturer at the Department of Organic Chemistry, Medical University of Lublin, 1 Al. Ratslavyske str., Lublin, Poland, 20-059

**ORCID:** 0000-0001-9306-7463

### **Mykhailo VOVK**

Doctor of Chemistry, Professor, Corresponding Member of NAS of Ukraine, Head of the Department of Mechanisms of Organic Reactions, Director of Institute of Organic Chemistry NAS of Ukraine, 5, Murmanska str., Kyiv, Ukraine, 02660

**ORCID:** 0000-0003-1753-3535

**To cite this article:** Slyvka, N., Saliyeva, L., Holota S., Zhytko, V., Khylyuk D., Vovk, M. (2022). Dokinhovi doslidzhennia mekhanizmu dii potentsiinoho nesteroidnoho protyzapalnoho ahentu 3-((3,5-dykhlorpirydyn-2-il)oksy)-3,4-dyhydro-2H-benzo[4,5]imidazo[2,1-b][1,3]-tiazynu [Docking studies of the mechanism of action of a potential non-steroidal anti-inflammatory agent 3-[(3,5-dichloropyridin-2-yl)oxy]-3,4-dihydro-2H-benzo[4,5]-imidazo[2,1-b][1,3]thiazine]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 61–68, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-8>

## DOCKING STUDIES OF THE MECHANISM OF ACTION OF A POTENTIAL NON-STEROIDAL ANTI-INFLAMMATORY AGENT 3-[(3,5-DICHLOROPYRIDIN-2-YL)OXY]-3,4-DIHYDRO-2H-BENZO[4,5]-IMIDAZO[2,1-b][1,3]-THIAZINE

The work is devoted to the docking research of the mechanism of action of the nonsteroidal anti-inflammatory agent of the imidazothiazine type, 3-[(3,5-dichloropyridin-2-yl)oxy]-3,4-dihydro-2H-benzo[4,5]imidazo[2,1-b][1,3]-thiazine. The synthesized compound **4q** with previously established high antioxidant activity was investigated for the docking of one molecule with another – molecular docking. According to the results of the experiment, it was established that the mechanism of anti-inflammatory activity of **4q** is based on non-selective effect on cyclooxygenases of the first and second types. According to the docking simulation results, the presence of chlorine atom in the **4q** molecule creates additional hydrophobic interaction that increases the total binding energy.

As a result of the docking studies, it was found that 3-[(3,5-dichloropyridin-2-yl)oxy]-3,4-dihydro-2H-benzo[4,5]imidazo[2,1-b][1,3]-thiazine **4q** when bound to COX-1 is placed in a hydrophobic pocket, the structure of which consists of a series of lipophilic amino acids, ILE563, VAL349, ALA527, LEU352, TRP387, PHE518, TYR385, TYR348, LEU384. Additionally, **4q** shows good binding to the active site of COX-2. This interaction is implemented due to hydrophobic interactions with a number of amino acids, VAL509, ALA513, VAL335, LEU370, TRP373 and TYR 371.

Performed docking studies showed that 3-[(3,5-dichloropyridin-2-yl)oxy]-3,4-dihydro-2H-benzo[4,5]imidazo[2,1-b][1,3]-thiazine **4q** forms a number of additional bonds with LEU338 (Pi-amide), ALA502 (Pi-alkyl), GLY512 (hydrogen-carbon bond). However, similar to the binding to the COX-1 enzyme, the tested compound **4q** did not form any hydrogen bonds.

It was shown that 3-[(3,5-dichloropyridin-2-yl)oxy]-3,4-dihydro-2H-benzo[4,5]imidazo[2,1-b][1,3]-thiazine **4q** which demonstrated good binding to COX-1 and COX-2 enzymes in *in silico* docking studies even without the formation of hydrogen bonds can be used as an effective model scaffold for the design of new potential non-steroidal anti-inflammatory agents.

**Key words:** 3-[(3,5-dichloropyridin-2-yl)oxy]-3,4-dihydro-2H-benzo[4,5]imidazo[2,1-b][1,3]-thiazine, anti-inflammatory (anti-exudative) activity, docking studies.

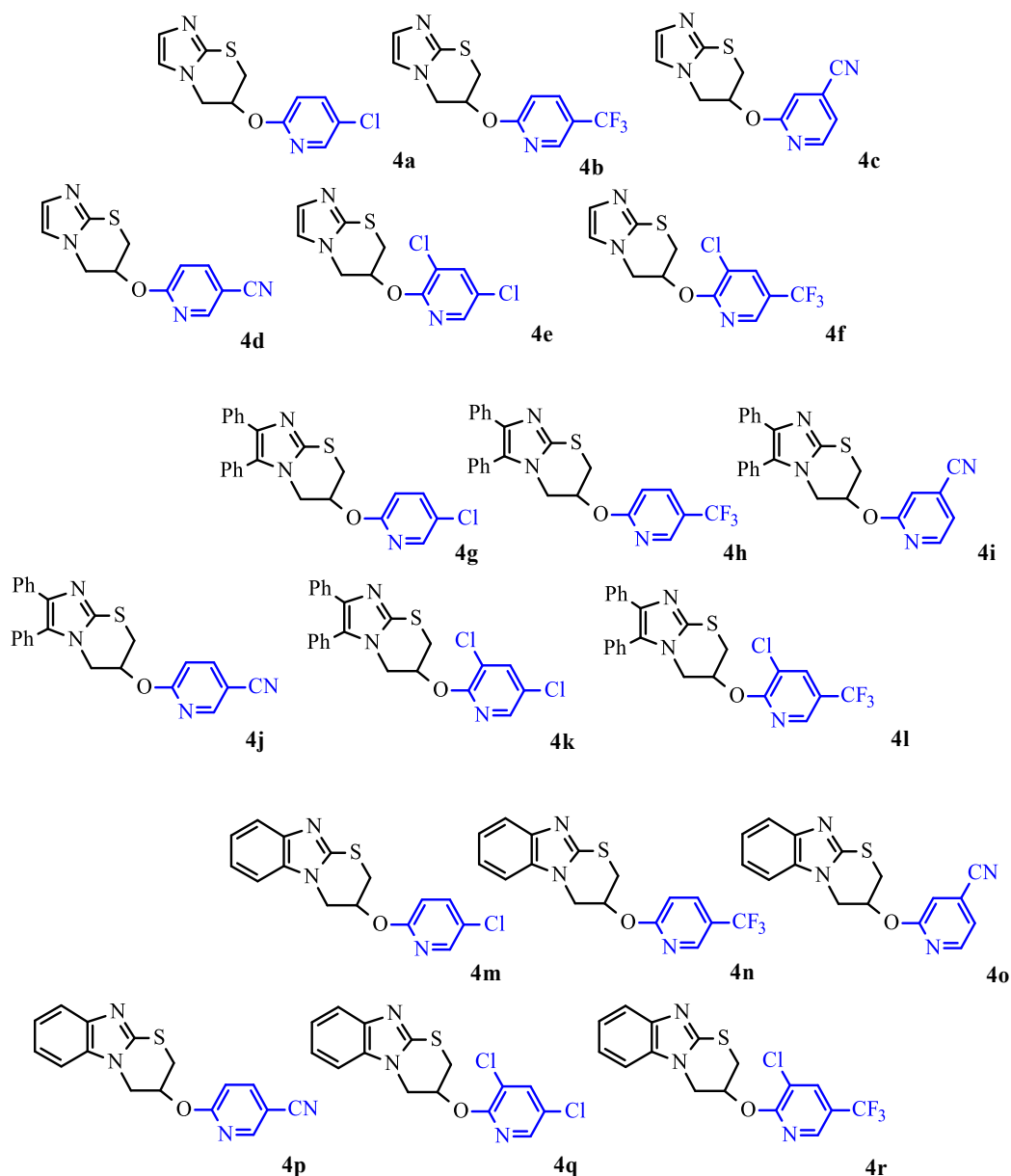
### Вступ

Нестероїдні протизапальні лікарські засоби (NSAIDs) на сьогоднішній день є однією з найдавніших та найбільш вживаних груп препаратів. На фармацевтичному ринку України представлені понад 20 оригінальних монокомпонентних препаратів NSAIDs та близько 200 генериків, а також значна кількість комбінованих засобів та їх генеричних версій. Проте проблема пошуку та створення нових NSAIDs залишається відкритою, перш за все, з метою усунення гастроінтестинальних, кардіо- та реноваскулярних ризиків при їх тривалому застосуванні [1-4]. В механізмах реалізації терапевтичних та побічних ефектів різних класів NSAIDs ключову роль відіграє вплив лікарських препаратів на клітинний метаболізм арахідонової кислоти, яка є субстратом для синтезу активних внутрішньоклітинних інтермедіатів: ейкозаноїдів, лейкотрієнів та ін. Різні класи органічних сполук здатні змінювати активність фосфоліпази A<sub>2</sub>, блокуючи процес вивільнення арахідонової кислоти з фосфоліпідів клітинної мембрани; селективно та неселективно інгібувати циклооксигенази 1 та 2 типів (COX-1 та COX-2), пригнічуючи трансформацію арахідонової кислоти до ейкозаноїдів; інгібувати 5-ліпооксигеназу (5-LOX), перешко-

джаючи перетворенню арахідонової кислоти на лейкотрієни; виявляти мультиактивність по відношенню до ензимних систем (подвійні інгібітори COX-2/5-LOX), тощо.

Останнім часом на особливу увагу заслуговують похідні імідазолу [5-8], що містять потенційні лікоподібні структури, які, зокрема, є основою багатьох нестероїдних протизапальних лікарських засобів [9-11]. В попередніх дослідженнях [12, 13], присвячених розвитку тематики органічної і медичної хімії конденсованих похідних імідазо[2,1-b][1,3]тіазину нами було синтезовано та ідентифіковано ряд потенційних протизапальних нестероїдних агентів, які характеризуються високим рівнем протизапальної активності в експериментах *in vivo* та відзначаються задовільними лікоподібними параметрами.

Отримані результати роботи [12] продемонстрували, що 2-(піридилокси)імідазо[2,1-b][1,3]тіазини **4a-f** були найактивнішими серед сполук даної серії. Для них значення показника інгібування запального процесу становило від 26,4 до 35,8%, натомість бензоанельована похідна **4q** виявила найвищу активність із значенням показника інгібування запалення 39,1%, що було еквівалентно значенню еталонного препарату. Інші синтезовані похідні продемонстрували нижчий рівень протизапальної активності



**Рис. 1. Сполуки, які досліджувалися на протизапальну (антиексудативну) активність**

зі значеннями показника інгібування в діапазоні від 3,7 до 21,8%.

В контексті взаємозв'язку “структура – протизапальна активність” слід зауважити, що найбільш активна гібридна сполука **4q** поєднує у своїй структурі бензо[4,5]імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазиновий та 3,5-дихлоропіридинільний фрагменти.

Таким чином, метою даної роботи було проведення *in silico* докінгових досліджень потенційного нестероїдного протизапального агента – сполуки **4q** – 3-[(3,5-дихлоропіридин-2-іл)окси]-3,4-дигідро-2*H*-бензо[4,5]-імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазину з метою вста-

новлення ймовірного механізму дії даної сполуки.

#### **Матеріали та методи**

#### **Синтез та дослідження протизапальної активності**

Синтез, фізико-хімічні властивості та дослідження протизапальної активності сполуки **4q** описані у роботі [12].

#### **Докінгові дослідження**

Autodock Vina використовувався для моделювання *in silico*. Рентгенівські кристалічні структури завантажено з ресурсу “Банк даних білків” (PDB, Protein Data Bank) (код PDB COX-1 – 2OYU, PDB код COX-2 – 3LN1). За



допомогою AutoDock Tools були видалені всі зв'язані ліганди та молекули води, додані полярні атоми водню, об'єднані неполярні атоми водню та визначено обертальні зв'язки. Також були розраховані заряди Коллмана і розподілені по всіх атомах в залишках. Хімічні структури сполук було намальовано за допомогою Biovia Draw, а їх 3D-структури оптимізовано за допомогою Hyperchem 7.5 з використанням квантових методів MM+ та PM3 відповідно до тих пір, поки не було отримано градієнт RMS менше 0,01 ккал/моль/Å. Розмір сітки був встановлений на 50×50×50 точок хуз з інтервалом сітки 0,375. Під час процедури стикування білки вважаються жорсткими. Результати менш ніж 2,0 Å в позиційному середньоквадратичному відхиленні (RMSD) були згруповані разом і представлені результатом з найбільш сприятливою вільною енергією зв'язування. Позицію з найнижчою енергією зв'язування або спорідненістю зв'язування було виділено і вирівняно

з відповідною структурою білка для наступного аналізу взаємодії ліганд-рецептор. Перевірку вибраних параметрів стикування проводили шляхом перетворення вихідних лігандів із тривимірних ферментних структур (індометацин-(S)-альфа-етилетаноламід до ЦОГ-1 (PDB: 2OYU) та целекоксибу до ЦОГ-2 (PDB: 3LN1)). Додатково було отримано енергії зв'язування нативних лігандів, що надалі дозволило оцінити протизапальну активність отриманих сполук у порівнянні з еталонними.

### Результати та їх обговорення

Проведені докінгові дослідження демонструють наявність виразного протизапального потенціалу тестованої сполуки **4q** на моделі *in silico*, що підтверджує отримані експериментальні дані на моделі *in vivo* (Таблиця 1).

Проте енергії зв'язування та константи інгібування  $K_i$  для молекули **4q** в порівнянні з даними, отриманими для референтних молекул індометацин-(S)-альфа-етилетаноламід та

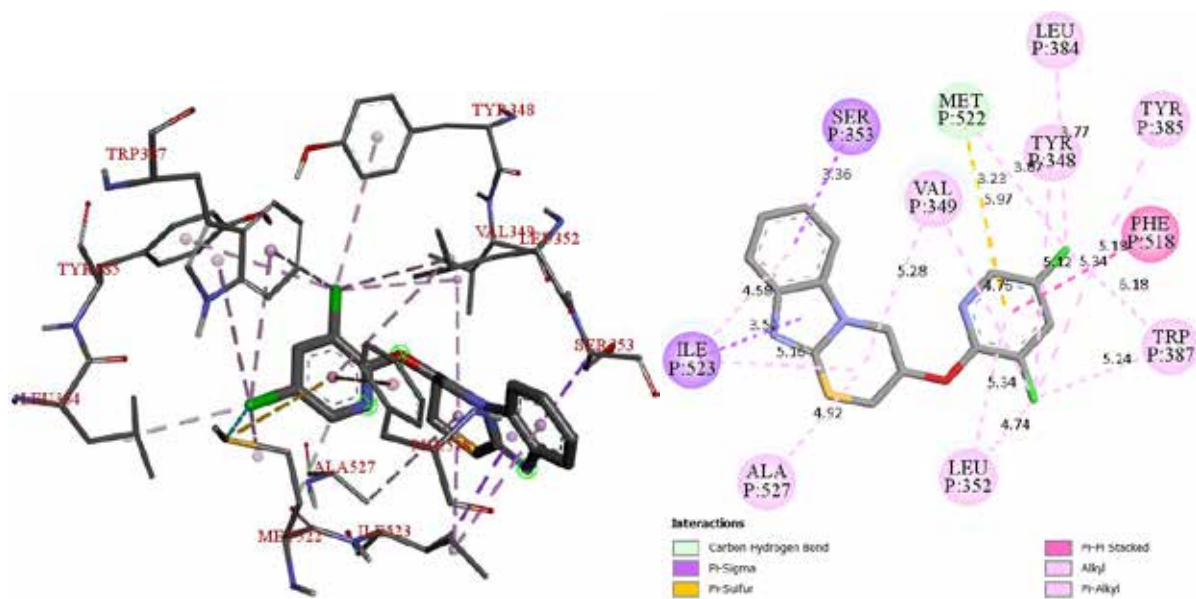


Рис. 2. Докінгова конформація 4q з ЦОГ-1 (COX-1, PDB code: 2OYU)

Таблиця 1

Розраховані енергії зв'язування та константи інгібування ( $K_i$ ) для молекули **f** та референтних молекул: індометацин-(S)-альфа-етилетаноламід та целекоксибу

Сполука/ Референс-препарати	COX-1 ( PDB: 2OYU)		COX-2 ( PDB: 3LN1)	
	Енергія зв'язування (Kcal/mol)	$K_i$ Константа інгібування	Енергія зв'язування (Kcal/mol)	$K_i$ Константа інгібування
H-319	-9.10	214.81 nM	-9.44	119.89 nM
Індометацин-(S)-альфа-етил-етаноламід	-10.16	35.50 nM	—	—
Целекоксиб	—	—	-11.38	4.54 nM

- COX-1 – циклооксигеназа-1; COX-2 – циклооксигеназа-2

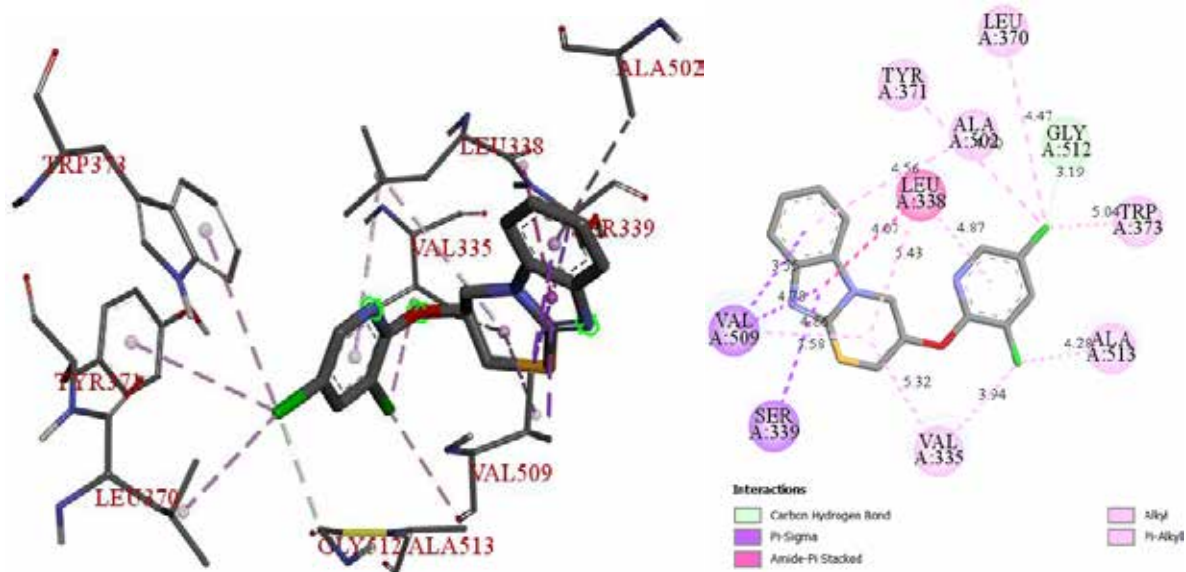


Рис. 3. Докінгова конформація 1 з ЦОГ-2 (COX-2, PDB code: 3LN1)

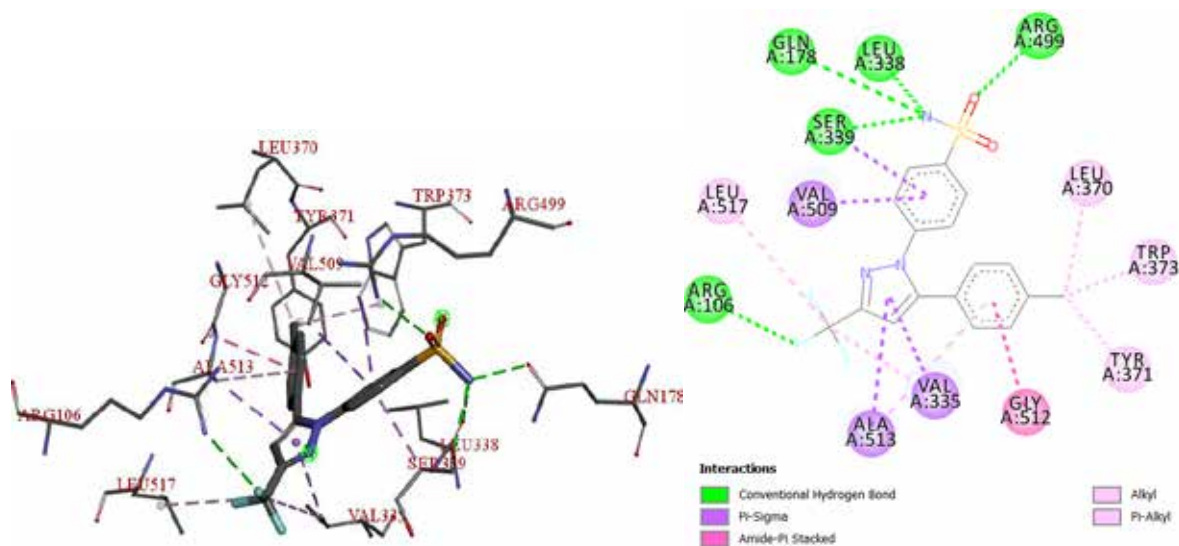


Рис. 4. Докінгова конформація целекоксибу з ЦОГ-2 (COX-2, PDB code: 3LN1)

целекоксибу (Таблиця 1), дозволяють припустити, що в основі механізму протизапальної активності **4q** є неселективний вплив на циклооксигенази першого та другого типу. Згідно з результатами моделювання стикування, наявність атома хлору у молекулі **4q** створює додаткову гідрофобну взаємодію, що збільшує сумарну енергію зв'язування.

При зв'язуванні з ЦОГ-1 сполука **4q** розміщується у гідрофобній кишені, структура якої складається з ряду ліпофільних амінокислот: ILE563, VAL349, ALA527, LEU352, TRP387, PHE518, TYR385, TYR348, LEU 384

(Рисунок 2). Зв'язування сполуки **4q** з ЦОГ-1 реалізується різними типами взаємодій: наприклад Pi-сігма, Pi-алкіл, і Pi-сірка. Проте необхідно відзначити, що відсутність водневих зв'язків зменшує енергію зв'язування сполуки **4q** порівняно з індометацин-(S)-альфа-етилетаноламідом.

В результаті проведених докінгових досліджень, встановлено, що 3-[(3,5-дихлорпіридин-2-іл)окси]-3,4-дигідро-2*H*-бензо[4,5]імідазо[2,1-*b*][1,3]-тіазин **4q** демонструє хороше зв'язування з активним сайтом ЦОГ-2 (Рисунок 3). Зазначена взаємодія реалізується

за рахунок гідрофобних взаємодій з рядом амінокислот: VAL509, ALA513, VAL335, LEU370, TRP373 і TYR 371. Такий механізм взаємодії з ЦОГ-2 є аналогічним для целекоксибу (Рисунок 4). Також під час проведених докінгових досліджень було виявлено, що 3-[(3,5-дихлорпіридин-2-іл)окси]-3,4-дигідро-2*H*-бензо[4,5]імідазо[2,1-*b*][1,3]-тіазин **4q** утворює ряд додаткових зв'язувань з: LEU338 (Рі-амід), ALA502 (Рі-алкіл), GLY512 (зв'язок "гідроген-карбон"). Однак, слід зауважити, що подібно зв'язуванням з ферментом ЦОГ-1, тес-

тована сполука **4q** не утворює жодних водневих зв'язків, які, в свою чергу, відіграють важливу роль і є вирішальними для реалізації сильної взаємодії з мішенню.

Підсумовуючи отримані результати, слід зазначити що, ефективно зв'язування, яке продемонструвала у *in silico* докінгових дослідження сполука **4q** із ферментами ЦОГ-1 та ЦОГ-2 навіть без утворення водневих зв'язків, дозволяє розглядати її як ефективний модельний скафолд для дизайну нових потенційних нестероїдних протизапальних агентів.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Bacchi, S.; Palumbo, P.; Sponta, A.; Coppolino, M.F. Clinical pharmacology of non-steroidal anti-inflammatory drugs: a review. *Antiinflamm Antiallergy Agents. Med Chem.* 2012, 11(1), 52-64.
2. Green, G.A. Understanding NSAIDs: from aspirin to COX-2. *Clin Cornerstone.* 2001, 3(5), 50-60.
3. Burayk, S.; Oh-Hashi, K.; Kandeel, M. Drug Discovery of New Anti-Inflammatory Compounds by Targeting Cyclooxygenases. *Pharmaceuticals (Basel).* 2022, 24, 15(3), 282.
4. Cuesta, S.A.; Meneses, L. The Role of Organic Small Molecules in Pain Management. *Molecules.* 2021, 1, 26(13), 4029.
5. Gong, J.-X.; Cui, Y. He, Z.-L.; Guo, Y.-W. Synthesis, spectral characterization, and antituberculosis activity of thiazino[3,2-*a*]benzimidazole derivatives. *Phosphorus, Sulfur, Silicon.* 2016, 191, 7, 1036-1041.
6. Kim, P.; Kang, S.; Boshoff, H.I.; Jiricek, J.; Collins, M.; Singh, R.; Manjunatha, U.H.; Niyomrattanakit, P.; Patel, S.; Zhang, L.; Goodwin, M.; Dick, T.; Keller, T.H.; Dowd, C.S.; Barry, C.E. Structure–Activity Relationships of Antitubercular Nitroimidazoles. 2. Determinants of Aerobic Activity and Quantitative Structure–Activity Relationships. *J. Med. Chem.* 2009, 52, 1329-1344.
7. Thompson, A.M.; Marshall, A.J.; Maes, L.; Yarlett, N.; Bacchi, C.J. Assessment of a pretomanid analogue library for African trypanosomiasis: Hit-to-lead studies on 6-substituted 2-nitro-6,7-dihydro-5*H*-imidazo[2,1-*b*][1,3]thiazine 8-oxides. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2018, 28, 207-213.
8. Thompson, A.M.; O'Connor, P.D.; Marshall, A.J.; Francisco, A.F.; Kelly, J.M.; Riley, J.; Read, K.D.; Perez, C.J.; Cornwall, S.; Thompson, R.C.A.; Keenan, M.; White, K.L.; Charman, S.A.; Zulfiqar, B.; Sykes, M.L.; Avery, V.M.; Chatelain, E.; Denny, W.A. Re-evaluating pretomanid analogues for Chagas disease: Hit-to-lead studies reveal both in vitro and in vivo trypanocidal efficacy. *Eur. J. Med. Chem.* 2020, 207, 112849.
9. Radini, A.M.; Abdel-Wahab, B.F.; Khidre, R.E. Synthetic routes to imidazothiazines. *Phosphorus, Sulfur, Silicon Relat. Elem.* 2016, 191, 6, 844-856.
10. Tales A. C. Goulart, T. A. C.; Kazmirski, J. A. G.; Back, D. F.; Zeni, G. Cyclization of Thiopropargyl Benzimidazoles by Combining Iron(III) Chloride and Diorganyl Diselenides. *J. Org. Chem.* 2019, 84, 14113-14126.
11. Schoeder, C.T.; Kaleta, M.; Mahardhika, A.B.; Olejarz-Maciej, A.; Łażewska, D.; Kieć-Kononowicz, K.; Müller, C.E. Structure-activity relationships of imidazothiazinones and analogs as antagonists of the cannabinoid-activated orphan G protein-coupled receptor GPR18. *Eur. J. Med. Chem.* 2018, 155, 381-397.
12. Saliyeva, L.; Slyvka N.; Litvinchuk, M.; Holota, S.; Grozav, A.; Yakovychuk, N.; Vovk M. Synthesis and evaluation of bioactivity of (2-pyridinyloxy)substituted (benzo)imidazo[2,1-*b*][1,3]thiazines. *Biointerface Research in Applied Chemistry.* 2022, 12(4), 5031 – 5044.
13. Slyvka N.; Saliyeva, L.; Holota, S.; Tkachuk, V.; Vaskevych, A.; Vaskevych, R.; Vovk M. Convenient Synthesis of 4-pyridinyloxy-Modified imidazo[2,1-*b*][1,3]thiazines as Potential Anti-inflammatory Agents. *Biointerface Research in Applied Chemistry.* 2023, 13(2), 183.

#### REFERENCES:

1. Bacchi, S.; Palumbo, P.; Sponta, A.; Coppolino, M.F. Clinical pharmacology of non-steroidal anti-inflammatory drugs: a review. *Antiinflamm Antiallergy Agents. Med Chem.* 2012, 11(1), 52-64.
2. Green, G.A. Understanding NSAIDs: from aspirin to COX-2. *Clin Cornerstone.* 2001, 3(5), 50-60.
3. Burayk, S.; Oh-Hashi, K.; Kandeel, M. Drug Discovery of New Anti-Inflammatory Compounds by Targeting Cyclooxygenases. *Pharmaceuticals (Basel).* 2022, 24, 15(3), 282.

4. Cuesta, S.A.; Meneses, L. The Role of Organic Small Molecules in Pain Management. *Molecules*. 2021, 1, 26(13), 4029.
5. Gong, J.-X.; Cui, Y. He, Z.-L.; Guo, Y.-W. Synthesis, spectral characterization, and antituberculosis activity of thiazino[3,2-*a*]benzimidazole derivatives. *Phosphorus, Sulfur, Silicon*. 2016, 191, 7, 1036-1041.
6. Kim, P.; Kang, S.; Boshoff, H.I.; Jiricek, J.; Collins, M.; Singh, R.; Manjunatha, U.H.; Niyomrattanakit, P.; Patel, S.; Zhang, L.; Goodwin, M.; Dick, T.; Keller, T.H.; Dowd, C.S.; Barry, C.E. Structure–Activity Relationships of Antitubercular Nitroimidazoles. 2. Determinants of Aerobic Activity and Quantitative Structure–Activity Relationships. *J. Med. Chem.* 2009, 52, 1329-1344.
7. Thompson, A.M.; Marshall, A.J.; Maes, L.; Yarlett, N.; Bacchi, C.J. Assessment of a pretomanid analogue library for African trypanosomiasis: Hit-to-lead studies on 6-substituted 2-nitro-6,7-dihydro-5*H*-imidazo[2,1-*b*][1,3]thiazine 8-oxides. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2018, 28, 207-213.
8. Thompson, A.M.; O'Connor, P.D.; Marshall, A.J.; Francisco, A.F.; Kelly, J.M.; Riley, J.; Read, K.D.; Perez, C.J.; Cornwall, S.; Thompson, R.C.A.; Keenan, M.; White, K.L.; Charman, S.A.; Zulfiqar, B.; Sykes, M.L.; Avery, V.M.; Chatelain, E.; Denny, W.A. Re-evaluating pretomanid analogues for Chagas disease: Hit-to-lead studies reveal both in vitro and in vivo trypanocidal efficacy. *Eur. J. Med. Chem.* 2020, 207, 112849.
9. Radini, A.M.; Abdel-Wahab, B.F.; Khidre, R.E. Synthetic routes to imidazothiazines. *Phosphorus, Sulfur, Silicon Relat. Elem.* 2016, 191, 6, 844-856.
10. Tales A. C. Goulart, T. A. C.; Kazmirski, J. A. G.; Back, D. F.; Zeni, G. Cyclization of Thiopropargyl Benzimidazoles by Combining Iron(III) Chloride and Diorganyl Diselenides. *J. Org. Chem.* 2019, 84, 14113-14126.
11. Schoeder, C.T.; Kaleta, M.; Mahardhika, A.B.; Olejarz-Maciej, A.; Łażewska, D.; Kieć-Kononowicz, K.; Müller, C.E. Structure-activity relationships of imidazothiazinones and analogs as antagonists of the cannabinoid-activated orphan G protein-coupled receptor GPR18. *Eur. J. Med. Chem.* 2018, 155, 381-397.
12. Saliyeva, L.; Slyvka N.; Litvinchuk, M.; Holota, S.; Grozav, A.; Yakovychuk, N.; Vovk M. Synthesis and evaluation of bioactivity of (2-pyridinyloxy)substituted (benzo)imidazo[2,1-*b*][1,3]thiazines. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2022, 12(4), 5031 – 5044.
13. Slyvka N.; Saliyeva, L.; Holota, S.; Tkachuk, V.; Vaskevych, A.; Vaskevych, R.; Vovk M. Convenient Synthesis of 4-pyridinyloxy-Modified imidazo[2,1-*b*][1,3]thiazines as Potential Anti-inflammatory Agents. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2023, 13(2), 183.

УДК 502.175:502.3

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-9>

**Наталія СУХА**

аспірант кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили, вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003

**Людмила ГРИГОР'ЄВА**

доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили, вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003

**ORCID:** 0000-0001-9452-2982

**Анна АЛЕКСЄЄВА**

кандидат технічних наук, доцент кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили, вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003

**ORCID:** 0000-0003-0345-8538

**Бібліографічний опис статті:** Суха, Н., Григор'єва, Л., Алексєєва, А. (2022). Індикативні вимірювання вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 69–76, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-9>

## ІНДИКАТИВНІ ВИМІРЮВАННЯ ВМІСТУ ФОРМАЛЬДЕГІДУ В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ М. МИКОЛАЄВА

Стаття присвячена дослідженню можливості застосування індикативних вимірювань вмісту формальдегіду ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) в атмосферному повітрі міст, які підвернені активним автотранспортним транзитним потокам. Автотранспорт – основний чинник підвищених рівнів формальдегіду в атмосферному повітрі таких міст. До цього ще додаються регіональні особливості, які впливають на збільшення вмісту і на процес розсіювання формальдегіду у приземному шарі атмосфери: це кліматично-метеорологічні умови, особливо влітку, коли поєднуються висока температура з відсутністю постійних вітрів; це наявність великого нерегульованого автотранспортного транзитного потоку крізь міста. В рамках імплементації положень Директиви 2008/50/ЄС у національне законодавство України необхідно запроваджувати екологічний моніторинг якості атмосферного повітря на підставі розширення фіксованих вимірювань за допомогою індикативних вимірювань показників якості повітря. У статті порушено питання узгодженості результатів індикативних і фіксованих вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі міст.

Метою роботи виступали дослідження особливостей застосування індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі у містах з інтенсивним автотранспортним потоком, на прикладі м. Миколаєва. Матеріалами дослідження виступали результати вимірювання вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі міста за 7 станціями індикативних вимірювань в м. Миколаєві, а також результати визначення вмісту формальдегіду на 4 стаціонарних референтних постах моніторингу атмосферного повітря м. Миколаєва.

Доведено, що у повітряному просторі м. Миколаєва наявне хронічне перевищення гранично-допустимих концентрацій формальдегіду як при здійсненні індикативних вимірювань, так і на стаціонарних постах моніторингу атмосферного повітря. Показано, що результати індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі перевищують у 1,5-1,6 рази відповідні величини при фіксованих вимірюваннях, а максимальні значення при фіксованих вимірюваннях перевищують у 1,6-1,8 разів максимальні значення при індикативних вимірюваннях. Обґрунтована необхідність калібрування станцій індикативних вимірювань відповідно до місцевих умов. Показана необхідність обов'язкового доповнення індикативними вимірюваннями екологічний моніторинг атмосферного повітря у містах з інтенсивними транспортними потоками.

**Ключові слова:** формальдегід, індикативні вимірювання, атмосферне повітря, моніторинг.

**Natalia SUKHA**

Postgraduate Student at the Department of Ecology, Petro Mohyla Black Sea National University, 68 Desantnykiv str., 10, Mykolaiv, Ukraine, 54003

**Lyudmila HRYHORIEVA**

Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology, Petro Mohyla Black Sea National University, 68 Desantnykiv str., 10, Mykolaiv, Ukraine, 54003

**ORCID:** 0000-0001-9452-2982

**Anna ALEKSIEIEVA**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Ecology, Petro Mohyla Black Sea National University, 68 Desantnykiv str., 10, Mykolaiv, Ukraine, 54003

**ORCID:** 0000-0003-0345-8538

**To cite this article:** Sukha, N., Hryhorieva, L., Aleksieieva, A. (2022). Indykatyvni vymiriuvannia vmistu formaldehydu v atmosfernomu povitri m. Mykolaieva. [Indicative measurements of formaldehyde content in atmospheric air of Mykolaev]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 69–76, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-9>

## INDICATIVE MEASUREMENTS OF FORMALDEHYDE CONTENT IN ATMOSPHERIC AIR OF MYKOLAEV

*The article is devoted to the study of the possibility of using indicative measurements of formaldehyde (CH<sub>2</sub>O) content in the atmospheric air of the cities exposed to active vehicular transit flows. Motor transport is a fundamental factor of increased formaldehyde levels in the atmospheric air of such cities. Regional peculiarities affecting the increase of formaldehyde content and dispersion process in the surface layer of the atmosphere are added to the current situation, such as climatic and meteorological conditions, especially in summer, when high temperatures are combined with a lack of permanent winds; and the presence of a large unregulated automobile transit flow through the city. Within the framework of the Directive 2008/50/EU implementation into the national legislation of Ukraine it is necessary to introduce the ecological monitoring of the atmospheric air quality from the expansion of the fixed measurements by means of indicative measurements of air quality indices. The article raises the question of the consistency of the results of indicative and fixed measurements of formaldehyde content in the atmospheric air of cities.*

*The purpose of the work is to study the peculiarities of the application of indicative measurements of formaldehyde content in the atmospheric air in the cities with heavy traffic, on the example of the city of Mykolaiv. The materials of the study are the results of measuring the formaldehyde content in the atmospheric air of the city by 7 stations of indicative measurements in Mykolaiv, as well as the results of determination of formaldehyde content at 4 stationary reference stations of atmospheric air monitoring in the city of Mykolaiv.*

*It has been proved that there is a chronic excess of the maximum permissible concentrations of formaldehyde both during indicative measurements and at the fixed air monitoring stations in the airspace of the city of Mykolaiv. It has been shown that the results of indicative measurements of formaldehyde content in atmospheric air exceed in 1.5-1.6 times the corresponding values at fixed measurements, and the maximum values at fixed measurements exceed in 1.6-1.8 times the maximum values at indicative measurements. The necessity of calibration of indicative measurement stations in accordance with local conditions has been substantiated. The requirement of compulsory supplementing with indicative measurements of ecological monitoring of atmospheric air in the cities with intensive traffic flows has been shown.*

**Key words:** formaldehyde, indicative measurements, atmospheric air, monitoring.

**Актуальність проблеми.** Чисте та безпечне атмосферне повітря є суспільною цінністю та останнім безкоштовним природним ресурсом, що для більшості населення не має альтернативи споживання. Для багатьох українських міст серйозною проблемою є високі концентрації формальдегіду в атмосферному повітрі [Ананьєва, 2017; Беляєва И, 2010; Гомонай, 2007; Шевченко, 2014], і особливо у містах з інтенсивним автомобільним

рухом [Григор'єва, 2018 С. 19]. Формальдегід відноситься до небезпечних атмосферним поллютантам, бо виступає генотоксичною речовиною: може викликати соматичні мутації, які можуть передаватися нащадкам; має мутагенну, ембріотоксичну та канцерогенну дію. Сполучення цих якостей ставить формальдегід в ряд найнебезпечніших для людини сполук. Належить до 2 класу небезпеки за токсичністю. Діоксид азоту, підсилює

негативний вплив формальдегіду. Тому збільшення вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі населених місць стає суттєвим екологічним ризиком для людини.

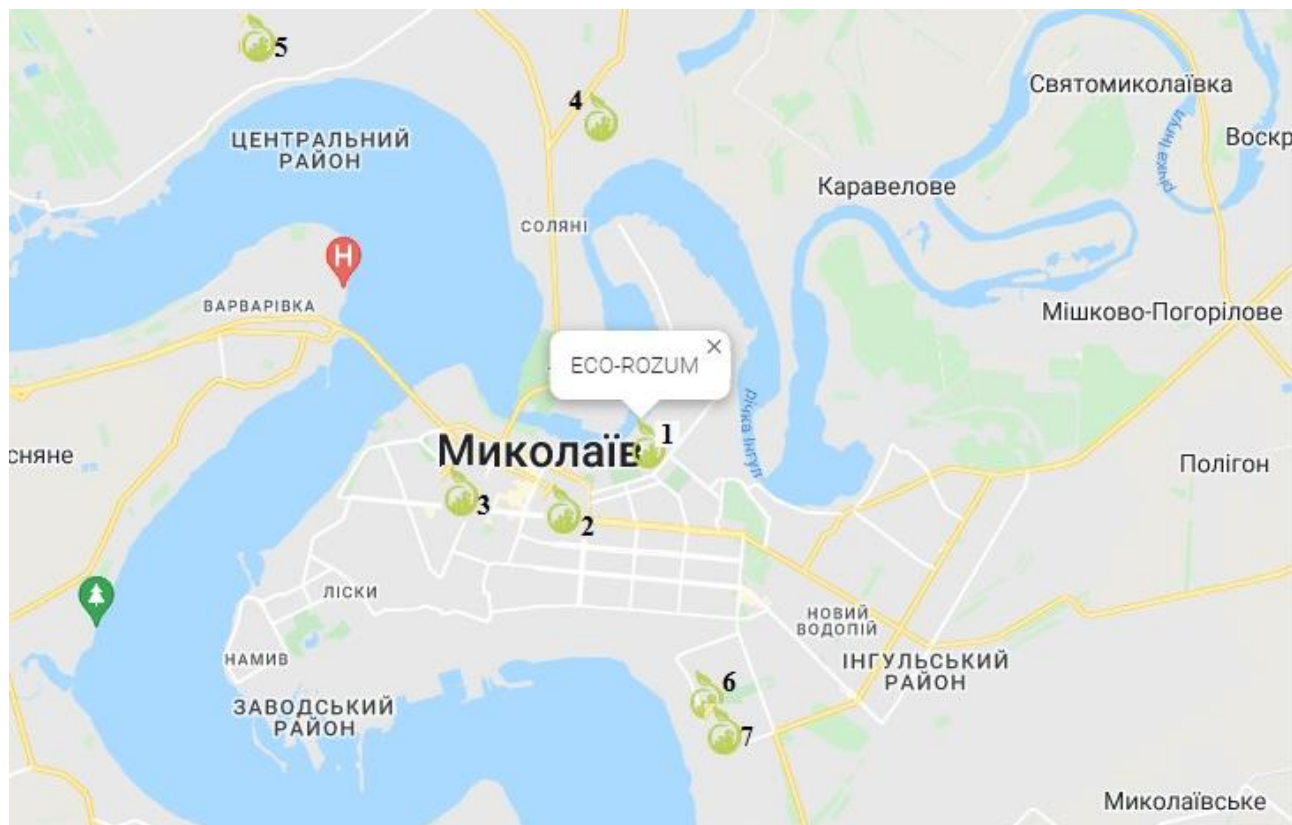
Окремим питанням в Україні є проблема вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі міст. При цьому, в рамках імплементації положень Директиви 2008/50/ЄС у національне законодавство України запропоновано запровадження екологічного моніторингу якості атмосферного повітря на підставі розширення фіксованих вимірювань за допомогою індикативних вимірювань показників якості повітря з врахуванням регіональних проблем територій [Варламов, 2010]. Тому для міст України залишаються актуальними дослідження щодо узгодженості індикативних та фіксованих вимірювань показників якості атмосферного повітря [Варламов, 2010; Васюкіна І., 2007; Мислюк О., 2008].

**Мета дослідження:** дослідити особливості застосування індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі у містах з інтенсивним автотранспортним потоком, на прикладі м. Миколаєва.

**Матеріали і методи дослідження.** Матеріалами дослідження виступали результати вимірювання вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі міста за 7 станціями індикативних вимірювань в м. Миколаєві, що у поточному режимі відображується на онлайн-карті <https://eco-city.org.ua/> (рис. 1):

1. «EcoRozum» – вул. 68 Десантників, 10, ЧНУ імені Петра Могили;
2. «Департамент ЖКГ» – вул. Адмірала Макарова, 7;
3. «MriyDiy 2» – пр. Центральний, 28;
4. «Північний» – вул. Архітектора Старова, 14а, Спортивний Дім Sport House;
5. «Solar Service Mykolaiv» – Матвіївка;
6. «Космонавтів» – вул. Космонавтів, 5;
7. «Залізнична» – вул. Залізнична, 52.

Для порівняння отриманих результатів індикативних вимірювань проаналізовано результати визначення вмісту формальдегіду ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) на 4 стаціонарних референтних постах моніторингу атмосферного повітря м. Миколаєва у період січень-грудень 2021 р., які виконано Комплексною лабораторією Миколаївського обласного центру з гідрометеорології та які



**Рис. 1. Карта-схема моніторингу екологічного повітря за допомогою станцій індикативних вимірювань**

представлено на сайті Миколаївської міської ради <https://mkrada.gov.ua/content/stan-atmosfernogo-povitrya.html>

Матеріалами також виступали результати власних досліджень стану атмосферного повітря за індикативними вимірюваннями за допомогою встановленої в ЧНУ імені Петра Могили універсальної станції моніторингу якості повітря Охуген (станція під назвою ECO-ROZUM). При цьому вважали, що через розташування цієї станції у місці, яке захищено від прямого надходження поллютантів при викидах з автотранспорту, знаходиться всередині університетського дворику, у місці зелених насаджень, де немає інших чинників забруднення повітря – результати вимірювань за цією станцією можна прийняти за фонові індикативні вимірювання показників стану атмосферного повітря у м. Миколаєві. Дослідження проведено у період: липень 2021 р. – січень 2022 р.

При обробці результатів дослідження використано методи математичної статистики та моделювання, статистичної обробки даних, методи графічного представлення даних дослідження.

#### Основний матеріал дослідження.

Графічний аналіз результатів індикативних вимірювань вмісту  $\text{CH}_2\text{O}$  в атмосферному повітрі у м. Миколаєві за станціями 1,2,6 за період

липень 2021 р. – січень 2022 р. представлено на рис. 2 – 6.

Як видно з рисунків, при  $\text{ГДК}_{\text{с.д.}} = 3 \text{ мкг/м}^3$ ;  $\text{ГДК}_{\text{м.р.}} = 35 \text{ мкг/м}^3$  середньомісячні концентрації складали  $20 \pm 3 \text{ мкг/м}^3$ . При цьому максимальні концентрації перевищували досягали  $70 \text{ мкг/м}^3$ . Аналіз помісячної динаміки свідчив про стійкий характер перевищень  $\text{ГДК}_{\text{с.д.}}$ ,  $\text{ГДК}_{\text{м.р.}}$ , особливо у період з квітня до жовтня. Узагальнюючі ці результати з результатами, які отримано на інших станціях індикативних вимірювань (т. 3, 5, 6), вміст  $\text{CH}_2\text{O}$  у місті коливався в межах  $8,08\text{--}19,20 \text{ мкг/м}^3$ , при середньому значенні  $10,71 \pm 2,92 \text{ мкг/м}^3$

За результатами вимірювань показників якості атмосферного повітря на 4 стаціонарних постах м. Миколаєва середньомісячний вміст  $\text{CH}_2\text{O}$  у повітрі міста Миколаєва коливався в межах  $8,5\text{--}15,5 \text{ мкг/м}^3$ , вміст пилу по місту в середньому дорівнював  $75 \text{ мкг/м}^3$  ( $0,09 \text{ ГДК}_{\text{с.д.}}$ ). Індекс забруднення атмосфери в цілому по місту за 2021 рік склав  $8,44$  одиниці.

Здійснено порівняльний аналіз величин показників якості атмосферного повітря у м. Миколаєві у досліджуваній період за усіма вимірюваннями. Порівняння результатів всіх спостережень представлено у таблиці 2.

На стовбчикових діаграмах (рис. 7,8) відображено результати (середні значення та мак-

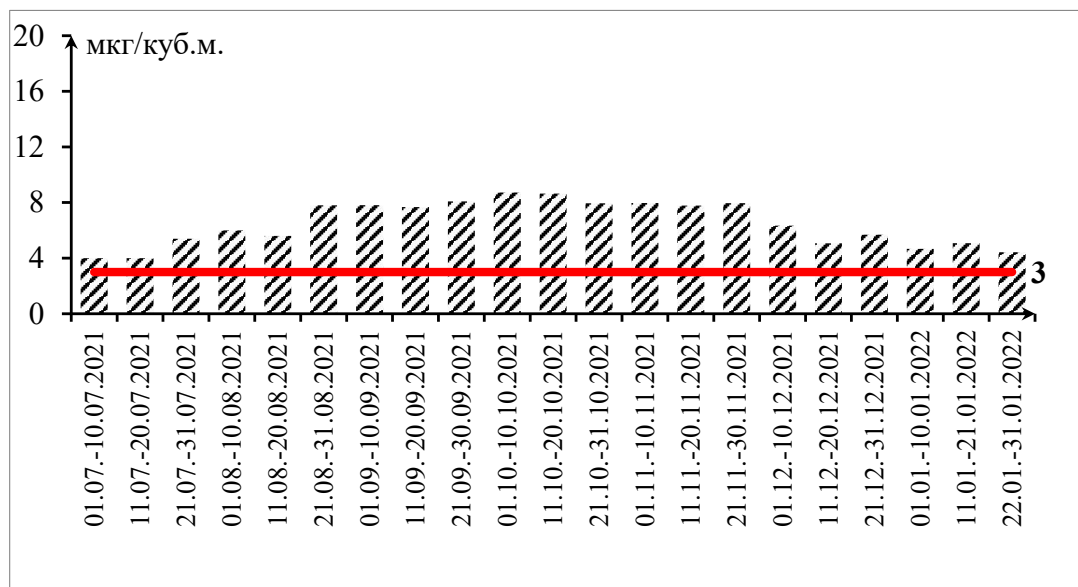
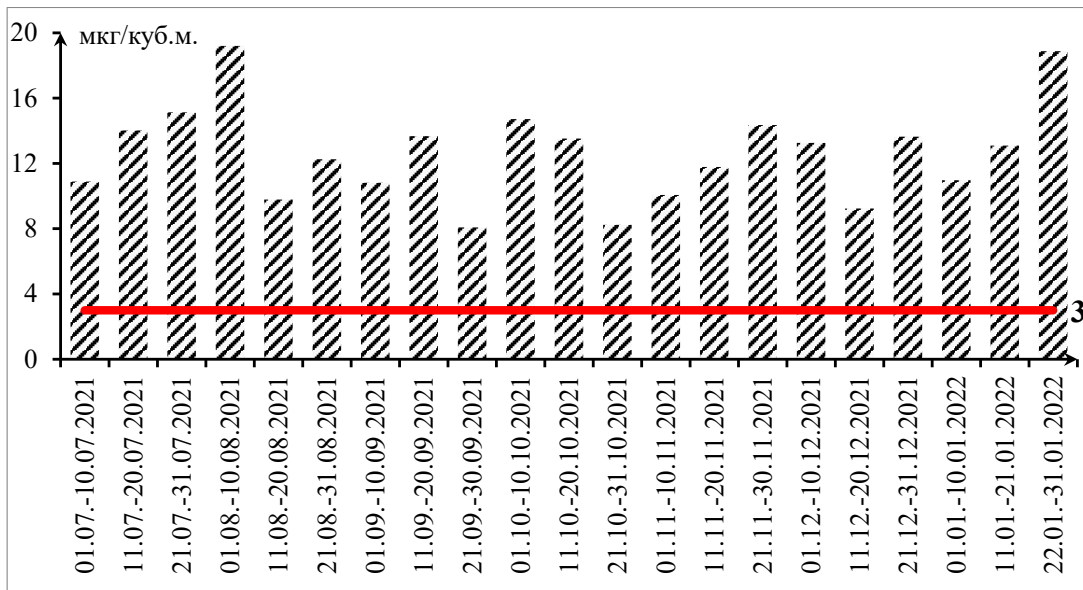
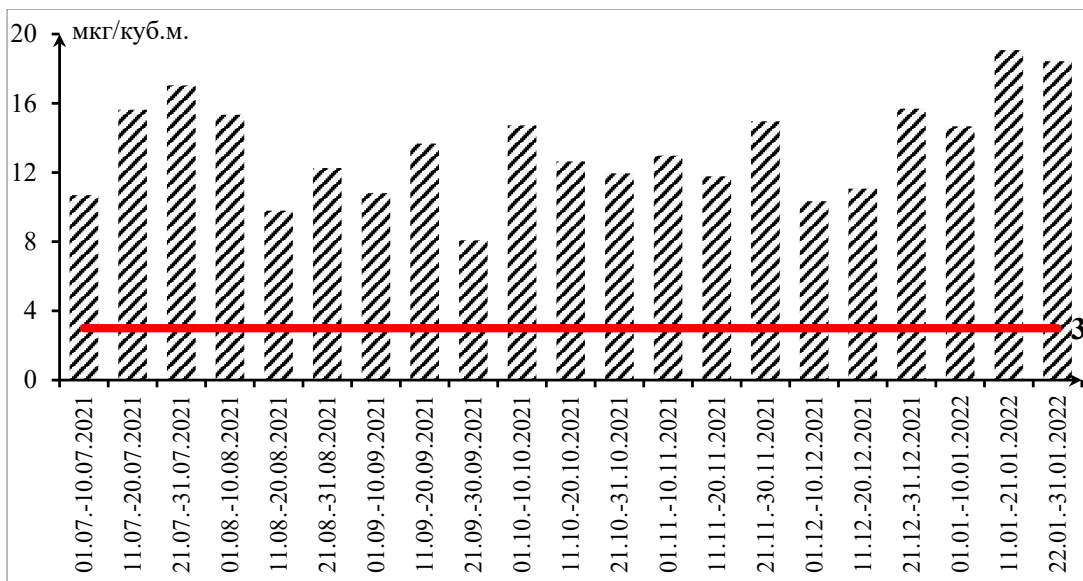


Рис. 2. Динаміка вмісту  $\text{CH}_2\text{O}$  у повітрі м. Миколаєва за станцією 1 (червоною лінією позначено величину гранично-допустимої концентрації середньодобової ( $\text{ГДК}_{\text{с.д.}}$ )  $\text{CH}_2\text{O}$ )





**Рис. 3.** Динаміка вмісту  $\text{CH}_2\text{O}$  у повітрі м. Миколаєва за станцією 2 (червоною лінією позначено величину гранично-допустимої концентрації середньодобової (ГДК<sub>сд</sub>)  $\text{CH}_2\text{O}$ )



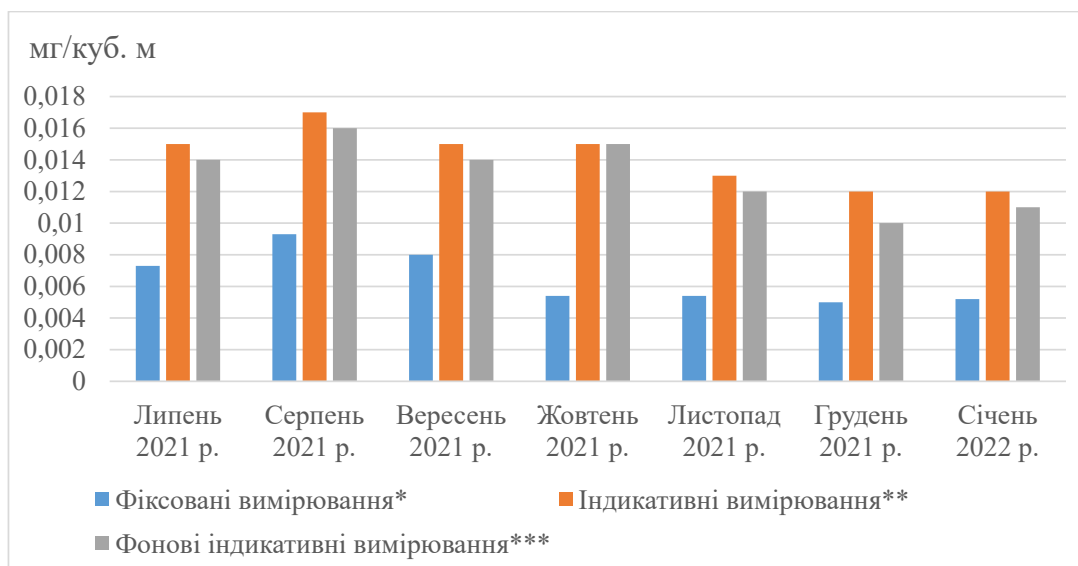
**Рис. 4.** Динаміка вмісту  $\text{CH}_2\text{O}$  у повітрі м. Миколаєва за станцією 7 (червоною лінією позначено величину гранично-допустимої концентрації середньодобової (ГДК<sub>сд</sub>)  $\text{CH}_2\text{O}$ )

симальні значення відповідно) фіксованих вимірювань та результатів індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за липень 2021 р. – січень 2022 р.

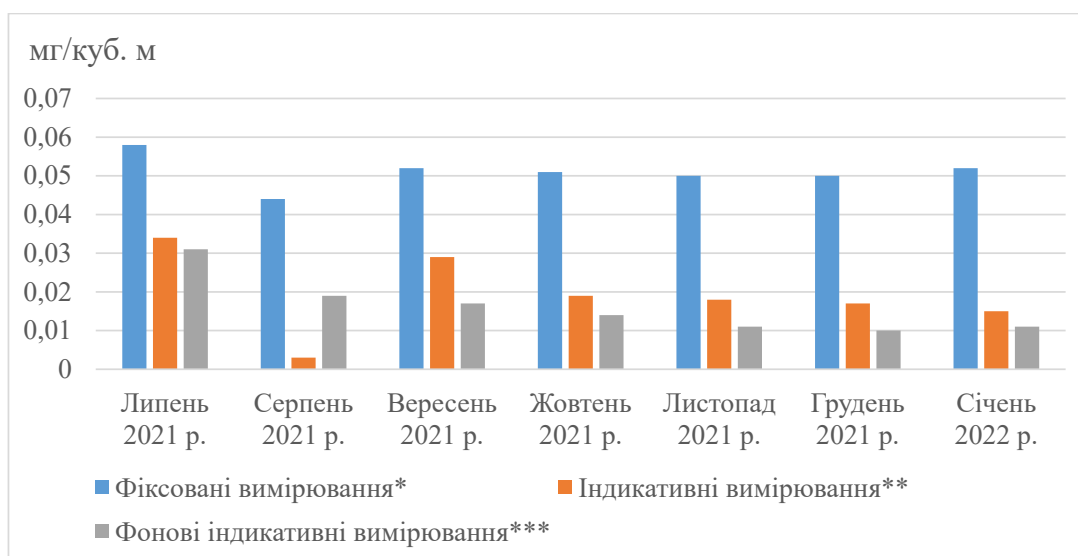
Як можна бачити, середні значення вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за результатами індикативних вимірювань перевищують у 1,5-1,6 рази відповідні величини фіксованих вимірювань, а за макси-

мальними значеннями навпаки: максимальні значення вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва при фіксованих вимірюваннях перевищують в 1,6-1,8 разів максимальні значення, які зафіксовано при індикативних вимірюваннях.

Цей факт ще раз підтверджує, що при референтному рівні забруднення (наприклад, формальдегідом) екологічний моніторинг атмосферного повітря має бути організований не



**Рис. 5. Середньомісячні значення вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за липень 2021 р. – січень 2022 р. за результатами фіксованих вимірювань та результатами індикативних вимірювань**



**Рис. 6. Максимальні значення вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за липень 2021 р. – січень 2022 р. за результатами фіксованих вимірювань та результатами індикативних вимірювань**

тільки за допомогою організації фіксованих вимірювань, а також доповнений індикативними вимірюваннями за допомогою комплексних компактних станцій, які призначені для здійснення індикативних вимірювань показників якості повітря. Отримані близькі результати показників якості атмосферного повітря за усіма 7 станціями індикативних вимірювань вказують, що при виборі місця розташування такої станції у місті з великими транспортними потоками для здійснення фонових вимірювань

показників якості атмосферного повітря така станція має розташована на великій відстані від дороги.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.**

1. Визначено, що у повітряному просторі м. Миколаєва наявне хронічне перевищення гранично-допустимих концентрацій формальдегіду як при здійсненні індикативних вимірювань, так і на стаціонарних постах моніторингу атмосферного повітря.

**Порівняння результатів фіксованих вимірювань та результатів індикативних вимірювань  
вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва  
за липень 2021 р. – січень 2022 р., мг/м<sup>3</sup>**

Місяць спостережень	Фіксовані вимірювання*		Індикативні вимірювання**		Фонові індикативні вимірювання***	
	$\bar{X} \pm \sigma_x$ , мкг/м <sup>3</sup>	max, мкг/м <sup>3</sup>	$\bar{X} \pm \sigma_x$ , мкг/м <sup>3</sup>	max, мкг/м <sup>3</sup>	$\bar{X} \pm \sigma_x$ , мкг/м <sup>3</sup>	max, мкг/м <sup>3</sup>
Липень 2021 р.	7,3±0,7	10	15±4	34	14±5	31
Серпень 2021 р.	9,3±1,0	14	17±10	30	16±4	19
Вересень 2021 р.	8,0±1,1	10	15±6	29	14±8	17
Жовтень 2021 р.	5±0,9	11	15±5	0,019	15±6	14
Листопад 2021 р.	5±0,7	10	13±3	0,018	12±2	13
Грудень 2021 р.	5,1±0,8	0,010	12±6	0,017	10±2	13
Січень 2021 р.	5,2±0,9	0,010	0,012±0,004	0,015	11±2	13

\* – за 4 стаціонарними постами спостережень Миколаївського обласного центру з гідрометеорології,

\*\* – за 7 стаціонарними постами 2-7 індикативних вимірювань,

\*\*\* – за стаціонарним постом 1 спостережень індикативних вимірювань.

2. Встановлено, що впродовж періоду з липня 2021 р. по січень 2022 р. на 4 стаціонарних референтних постах та на 7 стаціонарних постах індикативних вимірювань показників якості атмосферного повітря найбільша кратність перевищення ГДКс.д. (до 10 разів і вище) характерна для формальдегіду.

3. Визначено, що результати індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі перевищують у 1,5-1,6 рази відповідні величини при фіксованих вимірюваннях,

а максимальні значення при фіксованих вимірюваннях перевищують в 1,6-1,8 разів максимальні значення при індикативних вимірюваннях. Потрібно, по-перше, відкалібрувати розміщені у м. Миколаєві станції індикативних вимірювань відповідно до місцевих умов; по-друге, при референтному рівні забруднення екологічний моніторинг атмосферного повітря доповнювати індикативними вимірюваннями за допомогою відкаліброваних станцій, призначених для індикативних вимірювань показників якості повітря.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Ананьєва О. В. Вдосконалення гігієнічної оцінки забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : спец. 14.02.01 «гігієна та професійна патологія». Київ, 2017. 22 с.
2. Беляєва І.В., Орлова С.А., Боробова Н.А. Анализ источников загрязнения атмосферного воздуха города Донецка формальдегидом. Экологические проблемы индустриальных мегаполисов: Сборник трудов международной научно-практической конференции. Донецк, 26–28 мая 2010 г. С. 78–82.
3. Варламов Е.Н., Колосков В.Ю. Автоматический контроль и приборы измерения параметров окружающей среды : учеб. пособ. Харьков : НАУ, 2010. 164 с.
4. Васюкіна І.В. Аналіз впливу автотранспортних засобів на навколишнє середовище в селітебних зонах міст. *Екологічна безпека*. № 4. 2009(8). С. 16–20.
5. Волошкіна О.С. Дослідження забруднення формальдегідом атмосферного повітря Києва на автомобільних автопроводах. Регіональні проблеми охорони довкілля: мат. Міжнар. наук. конф. молодих вчених. Одеса, 2018. С. 46–51.
6. Гомонай В.І., Лобко В.Ю., Ходаковський В.С. Формальдегід – головний компонент забруднення атмосфери автомобільним транспортом в містах України. *Екологічний вісник*. 2007. № 1 (41). С. 10–12.
7. Григор'єва Л.І. та ін. Комплексна оцінка забруднення атмосферного повітря у місті Миколаєві. *Екологічні науки*, № 4 (23), 2018. С. 19–23.
8. Директива Європейського Парламенту та Ради 2008/50/ЄС від 21 травня 2008 року Про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_950#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_950#Text)
9. Мислюк О.О., Шейкіна О.Ю. Оцінка екологічної безпеки функціонування автотранспорту в умовах промислового міста. *Вісник ЖДТУ*. № 3 (46). 2008. С. 1–10.
10. Шевченко О.Г. Рівень забруднення атмосферного повітря міста Києва формальдегідом. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2014. № 14. С. 5–15.

**REFERENCES:**

1. Ananieva, O. V. (2017) Vdoskonalennia hihienichnoi otsinky zabrudnennia atmosferного povitria vykydamy avtomobilnogo transportu [*Improving the hygienic assessment of air pollution by emissions from road transport*]. Kyiv [in Ukrainian].
2. Belyaeva, I., & Orlova, S., & Borobova, N. (2010) Analiz ystochnykov zahriaznenyia atmosferного vozdukha horoda Donetska formaldehydom [*Analysis of sources of air pollution in the city of Donetsk with formaldehyde*]. Donetsk [in Ukrainian].
3. Varlamov, E.N & Koloskov, V.Yu. (2010). Avtomatycheskyi kontrol y pryborы yzmerenyia parametrov okruzhaiushchei sredы [*Automatic control and devices for measuring environmental parameters*]. Kharkiv [in Ukrainian].
4. Vaskina, I. (2009). Analiz vplyvu avtotransportnykh zasobiv na navkolyshnie seredovyshe v selitebnykh zonakh mist [*Analysis of the impact of vehicles on the environment in residential areas of cities*]. Kyiv: Environmental Safety [in Ukrainian].
5. Voloshkina, O. (2018). Doslidzhennia zabrudnennia formaldehydom atmosferного povitria Kyieva na avtomobilnykh avtoprovodakh [*Research of formaldehyde pollution of atmospheric air of Kyiv on automobile pipelines*]. Odesa [in Ukrainian].
6. Gomonai, V., & Lobko, V., & Khodakovsky V. (2007). Formaldehyd – holovnyi komponent zabrudnennia atmosfery avtomobilnym transportom v mistakh Ukrainy [*Formaldehyde is the main component of air pollution by road transport in the cities of Ukraine*]. Ecological Bulletin [in Ukrainian].
7. Grygorieva, L.I. (2018). Kompleksna otsinka zabrudnennia atmosferного povitria u misti Mykolaievi [*Comprehensive assessment of air pollution in the city of Mykolayiv*]. Kyiv: Ecological Sciences [in Ukrainian].
8. Pro yakist atmosferного povitria ta chystishe povitria dlia Yevropy: Dyrektyva Yevropeiskoho Parlamentu ta Rady (2008) [*On ambient air quality and cleaner air for Europe: Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council*]. Kyiv [in Ukrainian].
9. Mysliuk, O.O., & Sheikina, O.Yu. (2008). Otsinka ekolohichnoi bezpeky funktsionuvannia avtotransportu v umovakh promysloвого mista [*Estimation of ecological safety of functioning of motor transport in the conditions of the industrial city*]. / Zhytomir; Visnyk ZhSTU [in Ukrainian].
10. Shevchenko, O.H. (204). Riven zabrudnennia atmosferного povitria mista Kyieva formaldehydom [*The level of air pollution in the city of Kyiv with formaldehyde*] / Odesa: Ukrainian Hydrometeorological Journal [in Ukrainian].

УДК 911.2:711.5(477.81)

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-10>

**Віктор МОШИНСЬКИЙ**

доктор сільськогосподарських наук, професор, Національний університет водного господарства та природокористування, вулиця М. Карнаухова, 53а, м. Рівне, Україна, 33000

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1661-6809>

**Людмила КЛИМЕНКО**

кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Національний університет водного господарства та природокористування, вулиця М. Карнаухова, 53а, м. Рівне, Рівненська область, Україна, 33000

**Бібліографічний опис статті:** Мошинський В., Клименко Л. (2022). Обґрунтування математичної моделі прогнозування сталого розвитку середніх міст. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 77–85, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-10>

## ОБГРУНТУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ СЕРЕДНІХ МІСТ

Проведений аналіз засвідчує, що кожне місто за своєю суттю є соціально, економічно, екологічно, географічно, політично своєрідним і неповторним, відповідно і модель його сталого розвитку, яка базується на різних зовнішніх та внутрішніх чинниках, що визначають їхній розвиток є і будуть завжди специфічними і індивідуальними. Тому постає актуальною розробка моделі прогнозування сталого розвитку середніх міст та м. Рівного в тому числі. Основою прогнозування сталого розвитку міста є досягнутий рівень розвитку соціальної, економічної, екологічної сфер його життєдіяльності, пропорційності та збалансованості функціонування цих сфер з урахуванням передумов їх перспективного розвитку. Дослідження і прогнозування сталого розвитку середніх міст здійснювали у три етапи, а саме: початковий, аналітично-розрахунковий, заключний. Алгоритм побудови математичних моделей визначення індексів розвитку соціальної, економічної і екологічної сфер міст передбачає реалізацію наступних структурних елементів, а саме: проведення регресійного і кореляційного аналізів, перевірки адекватності математичних моделей; складання прогнозів розвитку цих сфер та інтегрального індексу сталого розвитку міст. Встановлено, що величини індексів розвитку соціальної, економічної і екологічної сфер міст обумовлюються показниками стимуляторів і дестимуляторів і описуються математичними моделями, які мають вид багаточинних лінійних регресій при коефіцієнтах детермінації від 0,841 до 0,921.

З метою покращення рівня розвитку міст на період 2025 року заплановано покращити для м. Івано – Франківська у соціальній сфері 2, у економічній 3, у екологічній 1 показник; для Луцька у соціальній сфері 3, економічній 2, екологічній 2; для Мелітополя у соціальній сфері 5, економічній 4, екологічній 3,; для Рівного соціальній сфері 4, економічній 3, екологічній 4, що дозволить досягти для Івано-Франківська високого рівня розвитку (0,753); для Луцька (0,619), Мелітополя (0,594), Рівного (0,679) середнього рівня розвитку їх соціально- економіко- екологічних систем.

**Ключові слова:** соціо-економіко-екологічний розвиток, математична модель, середні міста, прогнозування.

**Victor MOSHYNSKYI**

Doctor of Agricultural Science, Professor, National University of Water Management and Environmental Sciences, M. Karnaukhova Street, 53a, Rivne, Ukraine, 33000

**Liudmyla KLYMENKO**

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, National University of Water Management and Environmental Sciences, M. Karnaukhova Street, 53a, Rivne, Ukraine, 33000

**To cite this article:** Moshynskiy, V., Klymenko, L. (2022). Obgruntuvannia matematychnoi modeli prohnouzuvannia staloho rozvytku serednikh mist [The grounds of mathematical model of prognostication of medium-sized city sustainable development] *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 77–85, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-10>

## THE GROUNDS OF MATHEMATICAL MODEL OF PROGNOSTICATION OF MEDIUM-SIZED CITY SUSTAINABLE DEVELOPMENT

*The analysis having been done gives evidence of the fact that every city is socially, economically, ecologically, geographically unique and inimitable as to its substance. Accordingly, the model of its sustainable development is based on different outer and inner factors which determine their development and which are and will always be specific and individual. That's why the elaboration of the model of sustainable development prognostication of medium-sized cities including Rivne has become urgent. The basis of sustainable development prognostication of the city is the achieved level of the development of social, economic, ecological spheres of its vital activity, proportionality and balance of these spheres functioning, taking into account the preconditions of their perspective development. The research and prognostication of the sustainable development of medium-sized cities were carried out in the following three stages: primary, analytical and calculation, final. The algorithm of the structure of mathematical models for determination the indices of social, economic and ecological spheres development of the cities assumes the realization of the following structural elements: making regressive and corrective analyses, control of the adequacy of mathematical models, making prognosis of the development of these spheres and integral index of the city sustainable development.*

*It is ascertained that the values of the indices of the city social, economic and ecological spheres development are stipulated by the indices stimulants and destimulants and are described by mathematical models which have the form of multifactor linear regressions with the coefficient of determination from 0,841 to 0,921.*

*Aimed at the improvement of the level of city development within the period of the year 2025, it is projected to improve 2 indices of social sphere, 3 – economic, 2 – ecological in Ivano-Frankivsk, 3 indices of social sphere, 2 – economic, 2- ecological in Lutsk, 5 indices of social sphere, 4 – economic, 3 – ecological in Melitopol, 4 indices of social sphere, 3 – economic, 4 – ecological in Rivne. All these will allow Ivano-Frankivsk to reach the high level of development (0,75), for Lutsk – 0,619, for Melitopol – 0,594, for Rivne – 0,679 average level of their socio-economic-ecological systems development.*

**Key words:** economic-ecological systems development, mathematical models, medium-sized cities, prognostication.

**Актуальність проблеми.** Розв'язанню проблеми прогнозування сталого розвитку соціо-економіко-екологічних систем районів, соціально-економічних об'єктів і процесів різноманітних рівнів ієрархії, сталого розвитку територій, економічного зростання з урахуванням ресурсних обмежень присвячені наукові праці знатних економістів і математиків (Гаєць, Клебанова, Черняк та ін., 2005; Бойко, Грита, 2004; Петрик, Половненьов, 2003; Кондіус, 2007; Крючкова, 2000; Севастьянов, 1996; Карпінський, 2004). В цих працях науковці при здійсненні економічного та математичного прогнозування обрали різноманітні об'єкти та проблеми, і що особливо важливо, щодо сталого розвитку регіонів, однак не приділяли належної уваги прогнозуванню сталого розвитку соціо-економіко-екологічного розвитку міст.

Як відомо, кожне місто за своєю суттю є соціально, економічно, екологічно, географічно, політично своєрідним і неповторним, відповідно і модель його сталого розвитку, яка базується на різних зовнішніх та внутрішніх чинниках, що визначають їхній розвиток, є і будуть завжди специфічними і індивідуальними. Тому постає актуальною розробка моделі прогнозування сталого розвитку серед міст і м. Рівного в тому числі.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вивченню проблеми та прогнозуванню соціально-економічного розвитку різних систем і об'єктів присвячені наукові праці відомих економістів і математиків.

Так, у науковій праці Гайця В.М. розглянуті методологічні основи прогнозування з використання сучасного економіко – математичного апарату та викладені методи аналізу часових рядів з побудовою прогнозних моделей у вигляді трендів, адаптивних моделей, моделей авторегресій та плинної середньої (Гаєць, 2005).

Монографія Карпінського Б.А., Божко С.М. присвячена сучасним теоретичним, прикладним проблемам продуктивності і сталого розвитку економіки та розробці ряду економіко-математичних моделей щодо оптимізації продуктивності факторів, які впливають на економічне зростання (Карпінського Б.А., Божко С.М., 2004).

Дослідження Ковальчука П. І. присвячене моделюванню і прогнозуванню стану навколишнього середовища, розробці методів прогнозування стану навколишнього середовища, розробці методів прогнозування стану водних екосистем, охорони повітряного басейну, збереження ґрунтів, раціонального природокорис-

тування із застосуванням різних математичних методів (Ковальчук, 2003).

У науковій праці Поліщука С.З., Долодаренка В.О., Чорнобровніної Н.А., Рябко А.І. вкладені різномірні математичні моделі, які описують соціо-економіко-екологічний розвиток регіону, а саме: моделі прогнозу й оцінки стану атмосферного повітря, моделюючий комплекс та його інформаційно – програмне забезпечення (Поліщук, 2001).

Севастьянов Л. І. при проведенні системного дослідження прогнозування соціо-економічних процесів регіонів здійснив розрахунок його стану за трьома групами показників, які характеризують стан довкілля, населення, господарство території (Севастьянов, 1996).

У науковій праці Ляшенка І.М. розглянуті методологічні основи економіко – математичного моделювання сталого розвитку, що базується на системному розгляді економічних і екологічних проблем та пов'язують економічне зростання зі станом навколишнього середовища (Ляшенко, 1999).

Вітлінський В.В. у науковій праці виклав методологічні та методичні підходи до застосування математичних моделей у сфері економіки і підприємства (Вітлінський, 2005).

У монографії Герасимчук З.В., Кондіус І.С. досліджено теоретико – методологічні засади прогнозування стійкого розвитку регіону, запропоновано методики, за якими доцільно здійснювати оцінку та прогнозування такого розвитку (Герасимчук, Кондіус, 2010).

Аналіз цих наукових праць засвідчує, що більшість розглянутих моделей були присвячені оцінці прогнозу станів: економіки, навколишнього середовища, соціо-еколого-економічного розвитку регіонів, економіки і підприємництва. Виникає потреба у дослідженні використання цих методів для прогнозування сталого соціо-економіко-екологічного розвитку середніх міст.

**Мета роботи** полягає в обґрунтуванні математичної моделі прогнозування сталого соціо-економіко-екологічного розвитку середніх міст. Досягнення мети передбачало вивчення наступних завдань: аналіз та оцінка кількісних і якісних показників, які характеризують досягнутий рівень розвитку міст; визначення узагальнюючого показника, що визначає рівень соціального, економічного, екологічного розвитку міст; інтегральної оцінки рівня сталого

розвитку міст; розробки математичної моделі прогнозування сталого розвитку міст.

Об'єкти дослідження – процеси, що протікають у соціальній, економічній та екологічній сферах середніх міст, математичні моделі прогнозування сталого розвитку середніх міст.

Предмет дослідження – показники (індикатори), які характеризують стан соціальної, економічної та екологічної сфер середніх міст.

Методи дослідження. При проведенні досліджень використовувались методи системного аналізу, порівнянь, узагальнень, регресійного і кореляційного аналізу з використанням програми Microsoft Excel.

Результати досліджень. Основою прогнозування сталого розвитку міста є досягнутий рівень розвитку соціальної, економічної, екологічної сфер його життєдіяльності, пропорційності та збалансованості функціонування цих сфер з урахуванням передумов їх перспективного розвитку.

Прогнозування слід розглядати як процес передбачення можливого стану динамічного зростання рівня соціо-економіко-екологічного розвитку міста при збереженні рівноваги та збалансованості рівноцінної тріади суб'єкту, економіки і довкілля. Концептуальна схема прогнозування сталого розвитку міста наведена на рис. 1.

Згідно запропонованої схеми прогнозування сталого розвитку міст на першому етапі після визначення мети, об'єкта і предмета досліджень, завдань та визначення напрямків досліджень передбачається здійснення обґрунтування об'єктивного підбору системи кількісних і якісних показників (індикаторів), які будуть придатними відображати існуючі процеси, що протікають у соціальній, економічній, екологічній сферах цих міст, як у даних умовах так і впродовж повного відрізка часу.

Ці показники повинні відповідати наступним вимогам: інформаційної повноти, тобто кількість показників повинна бути оптимальною і повно відображати процес і його кінцевий результати; недопущення повторного використання одних і тих же показників; адекватно представляти взаємопов'язаної тріади складових сталого розвитку; співмірність у часі і просторі; адаптованість до існуючої системи статистики (Герасимчук, Кондіус, 2010).

Особливу увагу слід приділити виділенню з багаточисельного набору діагностичних

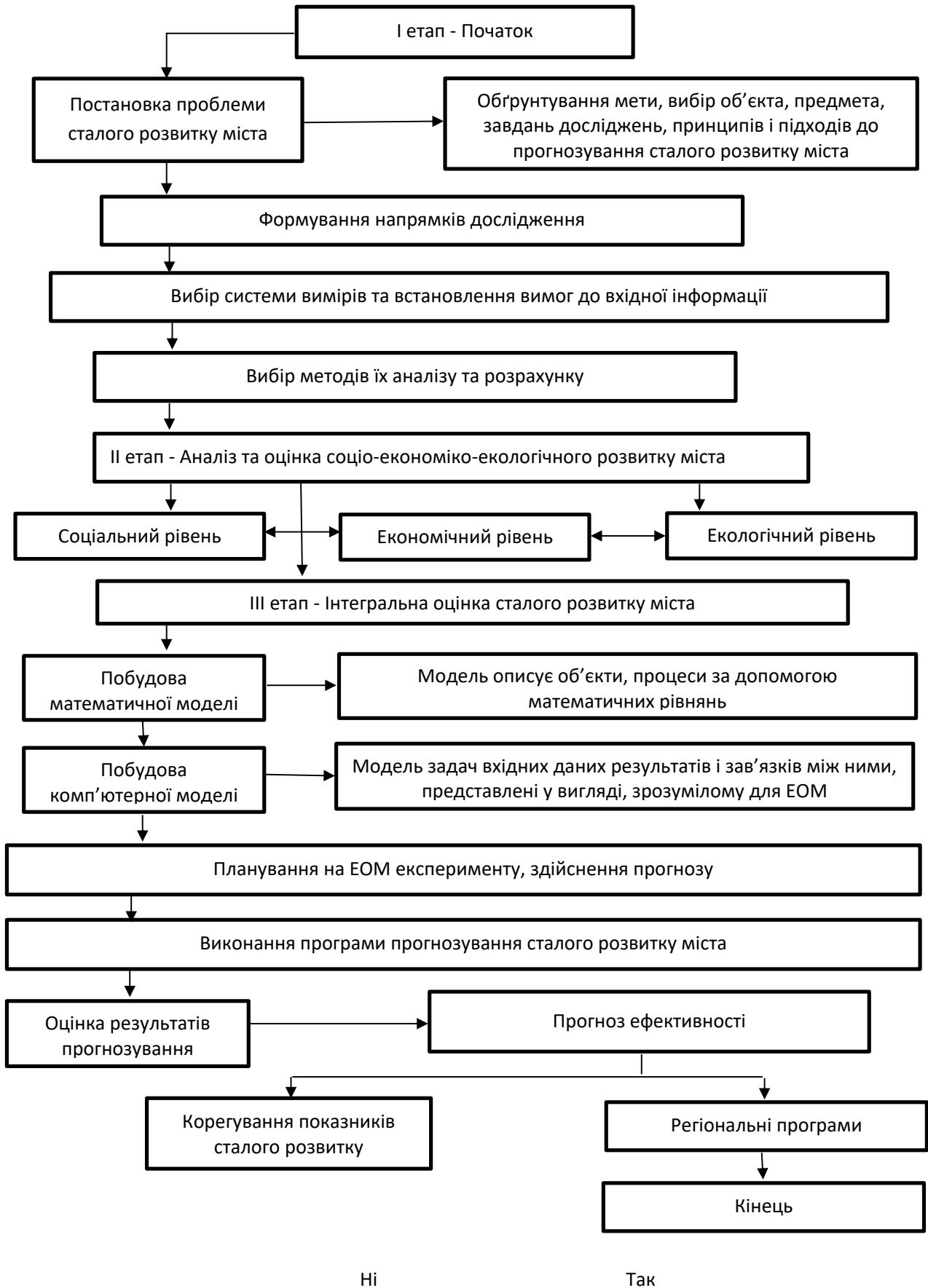


Рис. 1. Блок-схема моделі процесу дослідження і прогнозування сталого розвитку міста



показників тих, які мають найбільшу вагу для прогнозування функціонування та розвитку соціальної, економічної, екологічної сфер життєдіяльності міста. Вибираємо по однаковому показнику з кожної групи (на підставі наявності сильної кореляції), отримуємо набір ознак з цінними властивостями для прогнозування розвитку соціальної, економічної, екологічної сфер в місті. Це будуть ознаки слабкорельовані один з одним, зате корельовані з ознаками груп що представляються ними

Оцінку стану соціальної, економічної та екологічної сфер життєдіяльності середніх міст пропонується здійснювати за уніфікованою вимірювальною шкалою, розроблену нами, згідно якої стан розвитку цих сфер оцінюється кількісно і якісно: 1,0-0,75 – високий; 0,749-0,5 – середній; 0,499-0,25 – нижчий за середній; 0,249-0 – низький рівень.

Цю шкалу рекомендується застосовувати і для оцінювання рівня сталого розвитку міста (ПСРМ) розраховано також як середньоарифметичне з індексів розвитку соціальної (ІРСС), економічної (ІРЕС) та екологічної (ІРЕЕ) сфер.

На другому аналітичному етапі пропонується провести відбір показників, які характеризують соціальну, економічну та екологічну сфери міст за рейтингом важливості (за величиною матричних коефіцієнтів кореляції), а саме: низької важливості (0-0,2); середньої важливості (0,21-0,5), важливого фактора (0,51-0,7), дуже важливого фактора (0,71-0,9), стержневого, або вирішального фактора (0,91-1,0), або за коефіцієнтами детермінації факторів стимуляторів і дестимуляторів, що безпосередньо кількісно (згідно встановлених залежностей) впливають на індекси розвитку середніх міст.

Алгоритм побудови математичних моделей визначення індексу розвитку соціальної, економічної та екологічної сфер міст передбачає реалізацію наступних структурних елементів, а саме: проведення регресійного і кореляційного аналізу відібраної системи показників, оцінки отриманих результатів, перевірки адекватності математичних моделей, складання прогнозів розвитку соціальної, економічної та екологічної сфер середніх міст.

Згідно кореляційного і регресійного аналізу 16 відібраних показників індекс розвитку соціальної сфери міст описується багатофакторною

лінійною регресією при коефіцієнті детермінації  $R^2 = 0,921$  яка має вид:

$$\begin{aligned} \text{ІРСС} = & 1,4796056 - 0,025568x^2 - 0,04801x^3 - \\ & - 0,030865x^4 - 0,0005746x^7 - 0,011333x^8 + \\ & + 0,019859x^{11} - 0,026344x^{16} \end{aligned} \quad (1)$$

де:

$x_2$  – кількість зареєстрованих безробітних осіб на 1000 осіб;

$x_3$  – середньорічної номінальної заробітної плати, тис. грн/особу;

$x_4$  – навантаження на 1 робоче місце, осіб;

$x_7$  – відпуск води населенню на господарсько-побутові потреби, м<sup>3</sup>/особу;

$x_8$  – кількості підприємств роздрібною торгівлі, одн. на 100 осіб;

$x_{11}$  – кількості лікарняних ліжок, одн. на 1000 осіб;

$x_{16}$  – кількості зареєстрованих злочинів, випадків на 1000 осіб;

Індекс розвитку економічної сфери міст, з врахуванням 12 відібраних показників згідно кореляційного і регресійного аналізу описується багатофакторною лінійною регресією при коефіцієнті детермінації  $R^2 = 0.841$  яка має вид:

$$\begin{aligned} \text{ІРЕС} = & 0,313375 + 0,000217x^1 - 0,00461x^4 + \\ & + 0,002585x^6 + 0,000198x^7 + 2,42E-5x^8 + \\ & + 0,0032x^9 + 0,007776x^{10} \end{aligned} \quad (2)$$

де:

$x_1$  – обсяг реалізованої продукції, тис. грн/особу;

$x_4$  – кількість малих підприємств, одн./10 тис.осіб;

$x_6$  – інвестицій в основний капітал, тис. грн/особу;

$x_7$  – прямих іноземних інвестицій в економіку міста, дол. США/ особу;

$x_9$  – експорту послуг, дол. США/ особу;

$x_{10}$  – перевезення вантажів автотранспортом, т/ особу;

Індекс розвитку екологічної сфери міст, із включенням до системи 7 показників згідно проведеного кореляційного і регресійного аналізу описується багатофакторною лінійною регресією при коефіцієнті детермінації детермінації  $R^2 = 0,912$  яка має вид:

$$\begin{aligned} \text{ІРЕЕ} = & 3,36 - 0,00409x^1 - 0,01475x^2 - \\ & - 0,01301x^3 - 0,00752x^4 + 0,168403x^5 + \\ & + 0,003603x^6 + 0,000751x^7 \end{aligned} \quad (3)$$

де:

$x_1$  – викиди забруднюючих речовин від стаціонарних джерел, кг/особу;

$x_2$  – викиди забруднюючих речовин від пересувних джерел кг/особу;

$x_3$  – рівень використання свіжої води, м<sup>3</sup>/особу;

$x_4$  – потужності очисних споруд, м<sup>3</sup>/особу;

$x_5$  – утворення відходів I-III класів безпеки, кг/особу;

$x_6$  – загальна площа зелених масивів та насаджень, м<sup>2</sup>/ особу;

$x_7$  – капітальні інвестиції та поточні витрати на охорону навколишнього середовища, грн/ особу.

Оцінка отриманих результатів та перевірка розрахунків індексів розвитку соціальної, економічної, екологічної сфер у порівнянні встановлених за середньоарифметичним із показників у нормованих цих сфер у шкалу від 0 до 1 із розрахованими за багатофакторними лінійними регресіями 1, 2, 3 засвідчує, що придатність отриманих математичних моделей для прогнозування розвитку цих сфер на перспективу. Так як величини відхилення індексів розвитку цих сфер встановлених двома способами не перевищує значень 1%.

Складання прогнозів розвитку соціальної, економічної, екологічної сфер міст на ближню перспективу з використанням багатофакторних лінійних регресій 1, 2, 3 передбачає:

У соціальній сфері для Івано-Франківська забезпечення високого рівня розвитку цієї сфери (0,795) за рахунок збільшення відпуску води населенню на господарсько – побутові потреби з 30 до 50 м<sup>3</sup> на особу, зменшення кількості зареєстрованих злочинів з 10 до 7 випадків на 1000 осіб, для Луцька досягнення середнього рівня розвитку соціальної сфери (0,736) планується досягти за рахунок зменшення кількості зареєстрованих безробітних з 8 до 6 осіб на 1000 осіб, збільшення кількості підприємств з 1,65 до 3 одн./осіб та зменшення кількості зареєстрованих злочинів від 18 до 12 випадків/ осіб, для Мелітополя планується досягти середнього рівня розвитку цієї сфери(0,605) за рахунок зростання номінальної заробітної плати з 5,44 до 60 тис. грн на особу, зменшення навантаження на 1 робоче місце з 19 до 9 осіб, збільшення відпуску води населенню на господарсько-побутові потреби з 25 до 50 м<sup>3</sup>/ особу,

збільшення кількості підприємств роздрібно торгівлі з 1,2 до 3 одн./1000 осіб, зменшення кількості зареєстрованих злочинів з 15 до 10 випадків/ осіб, для Рівного забезпечення на ближню перспективу високого рівня розвитку соціальної сфери (0,826) може бути досягнуте за рахунок зменшення кількості зареєстрованих безробітних з 9 до 6 осіб/1000 осіб, зменшення навантаження на 1 робоче місце з 3 до 1 особи, зростання кількості підприємств роздрібно торгівлі з 1,6 до 3 одн./1000 осіб, зменшення кількості зареєстрованих злочинів з 20 до 15 випадків/1000 осіб.

Прогнозування розвитку економічної сфери життєдіяльності середніх міст на ближню перспективу з використанням багатофакторної лінійної регресії (2) передбачає для м. Івано-Франківська збереження середнього рівня розвитку цієї сфери (0,634) за рахунок збільшення обсягів реалізованої продукції з 18 до 40 тис. грн./особу, зростання інвестицій в основний капітал з 4,43 до 30 тис. грн./особу, експорту товарів з 737 до 1000 дол.США/особу; для м. Луцька досягнення середнього рівня розвитку економічної сфери(0,519) планується досягти за рахунок зростання експорту товарів з 799 до 2000 дол.США/особу, експорту послуг з 37 до 50 дол.США/ особу; для м. Мелітополя забезпечення нижче за середній рівня розвитку (0,454) прогнозується досягти за рахунок зростання обсягів реалізованої продукції з 11,3 до 20 тис. грн/особу, збільшення кількості малих підприємств з 52 до 80 одн./10 тис. осіб, зростання прямих іноземних інвестицій в економіку міста з 31 до 300 тис. дол. США/ особу, збільшення експорту послуг з 33 до 50 дол. США/ особу; для м. Рівне досягнення середнього рівня розвитку (0,627) планується досягти шляхом збільшення прямих іноземних інвестицій в економіку міста з 390 до 500 дол. США/ особу, зростанням надходжень від експорту товарів з 360 до 2000 дол. США/ особу, збільшення експорт послуг з 36 до 50 дол. США/особу.

Прогнозування розвитку екологічної сфери життєдіяльності середніх міст на ближню перспективу з використанням багатофакторної лінійної регресії (3) передбачає для м. Івано-Франківська збереження високого рівня розвитку цієї сфери (0,83) за рахунок скорочення викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел з 45,5 кг/особу до 40 кг/особу; для м.

Луцьк досягнення середнього рівня розвитку екологічної сфери(0,603) шляхом скорочення викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел з 58 до 50 кг/особу та збільшення площ зелених масивів і насаджень з 28,8 до 30 м<sup>2</sup>/особу ; для м. Мелітополя забезпечення середнього рівня розвитку(0,722) планується досягати за рахунок скорочення викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел з 5,3 до 4 кг/особу; пересувних джерел з 4,8 до 4,0 кг/особу, збільшення площ зелених насаджень і масивів з 23,2 до 30 м<sup>2</sup>/особу; для м. Рівне досягнення середнього рівня розвитку (0,583) планується досягти шляхом скорочення викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел з 11,68 до 5 кг/ особу, пересувних джерел з 45,5 до 40 кг/ особу та збільшення площ зелених масивів та насаджень з 22,9 до 30 м<sup>2</sup>/особу і збільшення капітальних інвестицій на поточні витрати на охорону навколишнього середовища з 12,5 до 100 грн/ особу (табл. 1).

Інтегральну оцінку сталого розвитку середніх міст здійснюємо за формулою, яка має вид:

$$ІСРМ = \frac{ІРСоцС * ІРЕконС * ІРЕколС}{3} \quad (4)$$

де: ІСРМ – інтегральний індекс сталого розвитку міста, одн.;

ІРСоц.С -індекс розвитку соціальної сфери, одн.;

ІРЕкон.С – індекс розвитку економічної сфери, одн.;

ІРЕкол.С – індекс розвитку екологічної сфери, одн.;

Як видно з табл. 1, у 2017 році середні міста досягли: Івано-Франківськ середнього рівня розвитку (0,687), Луцьк (0,485), Мелітополь (0,379), Рівне (0,492) нижче за середній рівень розвитку їх соціо-економіко-екологічних систем.

З метою покращення рівня розвитку міст на період 2025 року заплановано покращити для Івано-Франківська у соціальній сфері 2, у економічній 3, у екологічній 1 показник; для Луцька у соціальній сфері 3, економічній 2, екологічній 2; для Мелітополя у соціальній сфері 5, економічній 4, екологічній 3.; для Рівного соціальної сфері 4, економічній 3, екологічній 4, що дозволить досягти для Івано-Франківська високого рівня розвитку(0,753); для Луцька (0,619), Мелітополя (0,594), Рівного (0,679) середнього рівня розвитку їх соціо-економіко-екологічних систем.

#### Висновки

1. Дослідження і прогнозування сталого розвитку середніх міст доцільно здійснювати у три етапи, а саме: початковий, аналітично-розрахунковий, заключний.

2. Оцінку стану соціальної, економічної й екологічної сфер життєдіяльності середніх міст пропонується здійснювати за уніфікованою вимірювальною шкалою згідно якої індекси розвитку цих сфер оцінюються кількісно і якісно: 1,0-0,75 – високий; 0,749-0,50 – серед-

Таблиця 1

#### Інтегральні індекси сталого розвитку міст

Назва міст	2017 р					2025 р				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Івано-Франківськ	0,727	0,557	0,777	0,687	Середній рівень розвитку	0,795	0,634	0,83	0,753	Високий рівень розвитку
Луцьк	0,526	0,448	0,482	0,485	Нижче середнього рівня розвитку	0,736	0,519	0,603	0,619	Середній рівень розвитку
Мелітополь	0,224	0,343	0,57	0,379	Нижче середнього рівня розвитку	0,605	0,454	0,722	0,594	Середній рівень розвитку
Рівне	0,571	0,521	0,384	0,492	Нижче середнього рівня розвитку	0,826	0,627	0,583	0,679	Середній рівень розвитку

Примітка: 1 – індекс розвитку соціальної сфери, 2 – індекс розвитку економічної сфери, 3 – індекс розвитку екологічної сфери, 4 – кількісний показник ІСРМ, 5 – якісний показник ІСРМ.

ній; 0,499-0,25 – нижчий за середній; 0,249-0 – низький рівень.

3. Алгоритм побудови математичних моделей визначення індексів розвитку соціальної, економічної і екологічної сфер міст передбачає реалізацію наступних структурних елементів, а саме: проведення регресійного і кореляційного аналізів, перевірки адекватності математичних моделей, складання прогнозів розвитку

цих сфер та інтегрального індексу сталого розвитку міст.

4. Встановлено, що величини індексів розвитку соціально, економічної і екологічної сфер міст обумовлюються показниками стимуляторів і дестимуляторів і описуються математичними моделями, які мають вид багатфакторних лінійних регресій при коефіцієнтах детермінації від 0,841 до 0,921.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Прогнозування соціально-економічного розвитку району : питання теорії і методології / за ред. Є. І. Бойко. Львів : МАН України. Інститут регіональних досліджень, 2005. 234 с.
2. Моделі і методи соціально -економічного прогнозування / В. М. Гаєць та ін. Харків : «Інжек», 2005. 396 с.
3. Бойко Є. І., Грита Я. В. Проблемні питання прогнозування розвитку виробництва в регіоні. *Регіональна економіка*. 2004. № 2. С. 36–45.
4. Петрик О. І. Половнєв Ю. О. Аналіз чинників інформації прогнозування в Україні. *Економіка прогнозування*, 2003. № 1. С. 86–103.
5. Кондіус І. С. Алгоритм прогнозування соціо-еколого-економічного розвитку регіону. *Відтворення господарського комплексу регіону: методологія, механізми, інструменти* : матеріали міжнародної наук.-практ. конф. Чернівці : Книги XXI. Випуск 7. Т1, 2007. С. 86-90.
6. Аналіз і прогнозування розвитку регіону / под ред. Н.Г. Чумаченко. Київ : Наукова думка, 1991. 211 с.
7. Герасимчук З. В., Кондіус І. С. Теоретичні і прикладні засади прогнозування стійкого розвитку регіону : монографія. Луцьк : Надстир'я, 2010. 412 с.
8. Ковальчук П. І. Моделювання і прогнозування стану навколишнього середовища. Київ : Либідь, 2003. 208 с.
9. Системний аналіз і моделювання у розв'язанні проблем сталого розвитку територій / С. З. Поліщук та ін, Дніпропетровськ : Поліграфіст, 2001. 133 с.
10. Ляшенко І.М. Економіко- математичні методи і моделі сталого розвитку. Київ : Вища школа, 1999. 236 с.
11. Робертс Фред С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экономическим задачам. М. : Наука, 1986. 494 с.
12. Єріна А. М. Статистичне моделювання та прогнозування : навчальний посібник. Київ : КНЕУ, 2001. 170 с.
13. Ляшенко І. М. До методології еколого-економічного моделювання. *Економіка України*, 1999. № 6. С. 69–78.
14. Макроекономічне моделювання та короткострокове прогнозування / за ред. І. В. Крючкової. Харків : Форт, 2000. 336 с.
15. Севастьянов Л. И. Индикаторы социально-экономического развития регионов: методологические подходы к разработке. *Регион: экономика и социология*, 1996. № 1. С. 44–58.
16. Карпінський Б. А., Божко С. М. Продуктивність і сталий розвиток економіки. Львів : Логос, 2004. 274 с.
17. Вітлінський В. В. Моделювання економіки : навчальний посібник. Київ : КНЕУ, 2005. 408 с.

#### REFERENCES:

1. Boiko Ye. I. (Eds.). (2005). Prohnozuvannia sotsialno-ekonomichnoho rozvytku raionu : pytannia teorii i metodolohii [Forecasting the socio-economic development of the district: issues of theory and methodology]. Lviv : MAN Ukrainy. Instytut rehionalnykh doslidzhen [in Ukrainian].
2. Haiets V. M., Klebanova T. S., Cherniak O. I., Ivanov V.V., Dubrovina N.A., Stavyskyi A.V. (2005). Modeli i metody sotsialno-ekonomichnoho prohnozuvannia [Models and methods of socio-economic forecasting]. Kharkiv : «Inzhhek» [in Ukrainian].
3. Boiko Ye. I., Hryta Ya. V. (2004). Problemni pytannia prohnozuvannia rozvytku vyrobnytstva v rehioni [Problematic issues of forecasting the development of production in the region]. *Rehionalna ekonomika – Regional economy*. 2, 36–45 [in Ukrainian].
4. Petryk O. I. Polovnov Yu. O. (2003). Analiz chynnykiv informatsii prohnozuvannia v Ukraini [Analysis of forecasting information factors in Ukraine]. *Ekonomika prohnozuvannia – Economics of forecasting*. 1, 86–103 [in Ukrainian].
5. Kondius I. S. (2007). Alhorytm prohnozuvannia sotsio-ekoloho-ekonomichnoho rozvytku rehionu [Algorithm for forecasting socio-ecological and economic development of the region]. *Vidtvorennia hospodarskoho kompleksu rehionu: metodolohiia, mekhanizmy, instrumenty – Reproduction of the economic complex of the region: methodology, mechanisms, tools* : materialy mizhnarodnoi nauk.-prakt. konf. Chernivtsi : Knyhy XXI. Vypusk 7. T1, 86–90 [in Ukrainian].

6. Chumachenko N.H. (Eds.). (1991). Analiz i prognozirovanie rozvitiya regiona [Analysis and forecasting of the development of the region]. Kyiv : Naukova dumka [in Russian].
7. Herasymchuk Z. V., Kondius I. S. (2010). Teoretychni i prykladni zasady prohnozuvannya stiikoho rozvytku rehionu [Theoretical and applied principles of forecasting the sustainable development of the region]. Lutsk : Nadstyria [in Ukrainian].
8. Kovalchuk P. I. (2003). Modeliuvannya i prohnozuvannya stanu navkolyshnoho seredovyscha [Modeling and forecasting of the state of the environment]. Kyiv : Lybid [in Ukrainian].
9. Polishchuk S. Z., Volodarenko V. O., Chornobrovina N. A., Riabko A.I. (2001). Systemnyi analizi modeliuvannya u rozviazanni problem staloho rozvytku terytorii [System analysis and modeling in solving problems of sustainable development of territories]. Dnipropetrovsk : Polihrafist [in Ukrainian].
10. Liashenko I. M. (1999). Ekonomiko-matematychni metody i modeli staloho rozvytku [Economic and mathematical methods and models of sustainable development]. Kyiv : Vyshcha shkola [in Ukrainian].
11. Roberts Fred S. (1986). Diskretnyye matematicheskie modeli s prilozheniyami k sotsialnyim, biologicheskim i ekonomicheskim zadacham [Discrete Mathematical Models with Applications to Social, Biological and Economic Problems]. M. : Nauka [in Russian].
12. Yerina A. M. (2001). Statystychne modeliuvannya ta prohnozuvannya [Statistical modeling and forecasting]. Kyiv : KNEU [in Ukrainian].
13. Liashenko I. M. (1999). Do metodolohii ekoloho-ekonomichnoho modeliuvannya [To the methodology of ecological and economic modeling]. *Ekonomika Ukrainy – Economy of Ukraine*, 6, 69–78 [in Ukrainian].
14. Kriuchkova I. V. (Eds.). (2000). Makroekonomichne modeliuvannya ta korotkostrokovye prohnozuvannya [Macroeconomic modeling and short-term forecasting]. Kharkiv : Fort [in Ukrainian].
15. Sevastyanov L. I. (1996). Indikatoryi sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya regionov: metodologicheskie podhodi k razrobotke [Indicators of socio-economic development of regions: methodological approaches to development]. *Region: ekonomika i sotsiologiya – Region: economics and sociology*. 1, 44–58 [in Russian].
16. Karpinskyi B. A., Bozhko S. M. (2004). Produktyvnist i stalyy rozvytok ekonomiky [Productivity and sustainable development of the economy]. Lviv : Lohos [in Ukrainian].
17. Vitlinskyi V. V. (2005). Modeliuvannya ekonomiky [Modeling of the economy]. Kyiv : KNEU [in Ukrainian].

УДК 378:678;98/89

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-11>

**Михайло ДЕМ'ЯНЧУК**

доктор педагогічних наук, професор кафедри медико-профілактичних дисциплін та лабораторної діагностики, Муніципальний заклад вищої освіти «Рівненська медична академія» Рівненської обласної ради, вул. М. Карнаухова, 53, м. Рівне, Україна, 33018

**ORCID:** 0000-0001-8729-5144

**Бібліографічний опис статті:** Демянчук, М. (2022). Теоретичні аспекти проблеми підготовки фахівців сестринської справи до професійної діяльності. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 86–92, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-11>

## ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ СЕСТРИНСЬКОЇ СПРАВИ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

У статті розглянуто теоретичні аспекти проблеми підготовки фахівців сестринської справи до професійної діяльності. Розкрито сутність понять «підготовка», «підготовка фахівців», «підготовка до професійної діяльності», «сестринська справа», «фахівці сестринської справи». Підсумовано, що необхідність підвищення якості підготовки фахівців медичної галузі зумовлена певними чинниками. До них передусім відносяться особливості медико-демографічних процесів та їх прогностичний характер, захворюваності та старіння населення, способу його життя, а також ті, що впливають із загальних напрямків реформування системи охорони здоров'я України, в яких роль, місце діяльності і функції медичних сестер набувають якісно нового змісту, зокрема: пріоритетний розвиток первинної медико-санітарної допомоги, в тому числі на засадах сімейної медицини; розширення стаціонарних форм лікування; формування закладів медико-соціальної допомоги хронічним хворим, інвалідам і людям похилого віку, паліативної медицини та хоспісів; активізація профілактичної діяльності; створення сектора додаткових можливостей. Установлено, що роль фахівців сестринської справи визначається займаною посадою і функцією в системі охорони здоров'я: незалежна – передбачає дії, які виконує фахівець сестринської справи за власної ініціативи як самостійного спеціаліста в системі охорони здоров'я, без вказівок і призначень лікаря або інших спеціалістів: в рамках реалізації медсестринського процесу; медсестра-педагог; медсестра-організатор (координатор, контролер); медсестра, яка займається науково-дослідницькою роботою; залежна – виконується на підставі письмових призначень лікаря і під його наглядом – помічник лікаря; взаємозалежна – передбачає спільну діяльність фахівця сестринської справи з лікарем та іншими спеціалістами. Конкретизовано найважливіші функції фахівців сестринської справи: забезпечення постійного спостереження за пацієнтами протягом усього життя, висококваліфікованого загального, диференційованого чи інтенсивного догляду за хворими в умовах стаціонарної допомоги населенню, розвиток нових форм амбулаторної допомоги, забезпечення динамічного патронажного спостереження за пацієнтами вдома, проведення реабілітаційного та відновного лікування в спеціалізованих відділеннях чи відділеннях сестринського догляду.

**Ключові слова:** фахівці сестринської справи, підготовка фахівців, підготовка до професійної діяльності, сестринська справа.

**Mykhailo DEMIANCHUK**

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor at the Department of Medical Prevention Disciplines and Laboratory Diagnostics, Municipal Institution of Higher Education «Rivne Medical Academy» of the Rivne Regional Council, M. Karnaukhov str., 53, Rivne, Ukraine, 33018

**ORCID:** 0000-0001-8729-5144

**To cite this article:** Demianchuk, M. (2022). Teoretychni aspekty problemy pidhotovky fakhivtsiv sestrynskoї spravy do profesiinoї diialnosti [Theoretical aspects of the problem of training nursing specialists for professional activity]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 86–92, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-11>

## THEORETICAL ASPECTS OF THE PROBLEMS OF TRAINING NURSING SPECIALISTS FOR PROFESSIONAL ACTIVITY

*The article considers the theoretical aspects of the problem of training nursing specialists for professional activity. The essence of the concepts "training", "training of specialists", "preparation for professional activity", "nursing", "nursing specialists" is revealed. It is concluded that the need to improve the quality of training of specialists in the medical field is determined by certain factors. They primarily include the peculiarities of medical and demographic processes and their predictive nature, morbidity and aging of the population, their way of life, as well as those arising from the general directions of reforming the health care system of Ukraine, in which the role, place of activity and functions of nurses acquire a qualitatively new content, in particular: priority development of primary health care, including on the basis of family medicine; expansion of inpatient substitute forms of treatment; formation of medical and social care institutions for chronically ill, disabled and elderly people, palliative medicine and hospices; activation of preventive activities; creating a sector of additional opportunities. It has been established that the role of nursing specialists is determined by their position and function in the health care system: independent – involves the actions performed by a nursing specialist on his own initiative as an independent specialist in the health care system, without the instructions and appointments of a doctor or other specialists: within the framework of the implementation of the nursing process; nurse teacher; nurse-organizer (coordinator, controller); a nurse engaged in research work; dependent – performed on the basis of written prescriptions of a doctor and under his supervision – a doctor's assistant; interdependent – involves the joint activity of a nursing specialist with a doctor and other specialists. The most important functions of nursing specialists are specified: providing constant monitoring of patients throughout life, highly qualified general, differentiated or intensive care for patients in the conditions of inpatient care for the population, development of new forms of outpatient care, providing dynamic patronage monitoring of patients at home, conducting rehabilitation and restorative treatment in specialized units or nursing units.*

**Key words:** *nursing specialists, specialist training, professional training, nursing.*

**Актуальність проблеми.** Розвиток нашого суспільства в сучасних умовах та підвищення його добробуту зумовлюють необхідність у кваліфікованих та конкурентоспроможних кадрах на різних рівнях загальнодержавних і регіональних потреб. Одним із найважливіших завдань, що стоять на сьогодні перед будь-яким медичним навчальним закладом є забезпечення держави фахівцями, що мають високий рівень професійної підготовки, оскільки якість медичної допомоги безпосередньо залежить від рівня підготовки випускників-медиків.

Підготовка кваліфікованих конкурентоспроможних кадрів із високим рівнем професійних знань, умінь, навичок мобільності, які відповідають вимогам науково-технічного прогресу й ринковим відносинам в економіці, виховання соціально-активних членів суспільства, формування у них наукового світосприйняття, творчого мислення, кращих людських якостей та національної свідомості є головним завданням професійної освіти в умовах переходу до ринкових відносин, яка відповідає певному рівню кваліфікації (Професійна освіта, 2000).

Протягом останніх років у системі охорони здоров'я України продовжується реформування сестринської справи, спрямоване на модернізацію системи освіти сестринського персоналу, з розширенням професійних навичок, професійного та соціального статусу. Глобальні зміни

української охорони здоров'я багато в чому залежить від компетентності медичних кадрів, зокрема медичних сестер. Підготовка медичних сестер нової генерації – прикладних та академічних бакалаврів сестринської справи не тільки актуалізує престиж професії, а й дозволить передати велику частку функціоналу лікарів медичним сестрам, що знизить дефіцит лікарських кадрів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми підвищення якості професійної підготовки майбутніх фахівців сестринської справи висвітлені у численних працях сучасних науковців. Так, З. Алтинбекова, В. Іванова та М. Шегедин висвітлили базову модель медсестринства в Україні (Алтинбекова, Іванова & Шегедин, 2008). Тоді як О. Булаєвська виявила складові професійної діяльності середнього медичного персоналу (Булаєвська, 2011). О. Маркович виявила специфічні особливості формування професійних умінь майбутніх медичних сестер хірургічного профілю засобами алгоритмізації (Маркович, 2008). Л. Нечаєва дослідила специфіку процесу підготовки студентів коледжів до взаємодії (Нечаєва, 1991). У доробку О. Шароватової відбито результати дослідження готовності майбутніх фахівців соціономічної сфери до здійснення гувернерської діяльності (Шароватова, 2009). Сучасні підходи до вищої медичної освіти в Україні (з

дистанційним під'єднанням ВМ(Ф) НЗ України за допомогою відеоконференц-зв'язку) відображено в матеріалах численних конференцій. Значну увагу дослідники спрямовують на забезпечення розвитку самостійності майбутніх бакалаврів сестринської справи. Зокрема, О. Яковець описує самостійну роботу як важливий чинник у формуванні професійних умінь студентів медичних коледжів (Яковець, 2011).

**Метою статті** є теоретичний огляд проблеми підготовки фахівців сестринської справи до професійної діяльності.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Розглянемо сутність об'єкта нашого дослідження, приділивши основну увагу поняттям «підготовка», «підготовка фахівців», «підготовка до професійної діяльності», «сестринська справа», «підготовка фахівців сестринської справи».

Аналіз першоджерел дозволив нам знайти різні підходи до визначення поняття «підготовка». У педагогічному словнику – сукупність знань, умінь, навичок, оволодіння якими дає змогу бути спеціалістом у певній галузі (Гончаренко, 1997, с. 145).

Л. Нечаєва розглядає процес підготовки як готовність, яка розуміється нею як «система інтегральних змінних, що включають професійну спрямованість особистості, її теоретичну озброєність, а також наявність професійно-значущих умінь, необхідних для спільної діяльності» (Нечаєва, 1991, с. 7).

Н. Ничкало поняття «підготовка» тлумачить двояко: як навчання, тобто спеціально організований процес формування готовності до виконання майбутніх завдань та як готовність, під якою розуміється наявність компетенції, знань, умінь та навичок необхідних для успішного виконання певних завдань (Професійна освіта, 2000).

Ми дотримуємося погляду М. Васильєвої, яка вважає, що під терміном «підготовка» слід розуміти процес формування, удосконалення знань, умінь, навичок, якостей особистості необхідних для виконання діяльності, здійснюваної в ході навчання, самоосвіти або професійної освіти (Васильєва, 2003).

Підготовка фахівця – це сукупність практичних знань, умінь і навичок, частина професійно-трудового досвіду, реалізована у практичних діях, які становлять основу професії.

Г. Алексєєва підготовку фахівців розглядає як частину організованого педагогічного процесу з набуття професійних знань, умінь та ціннісних установок, яка реалізується в рамках відповідного циклу галузевого стандарту (Алексєєва, 2012).

Базуючись на поняттях системного аналізу Л. Янчева, Л. Крайнюк та П. Пивоваров сформулювали наступні принципи формування фахівців нового покоління: мотивація (абітурієнтів; студентів; викладачів); агрегування (навчальних дисциплін; навчальних планів; робочих програм; кафедр); інтеграція (науки, виробництва, освіти; навчальних дисциплін, робочих програм); фундаменталізація (просякнення спеціальних дисциплін фундаментальними; запровадження нових методів фундаментальних дисциплін необхідних для розв'язання актуальних проблем галузі). Перший принцип включає, по-перше, мотивацію пізнавальної діяльності студентів по формуванню себе як фахівця високого рівня, по-друге, мотивацію систематичної роботи професорів та доцентів у напрямку підвищення своєї кваліфікації. Під агрегуванням розуміють об'єднання низки дисциплін одного напрямку. Під інтеграцією – часткове об'єднання кількох навчальних дисциплін із взаємним проникненням, з «просякненням». При цьому доцільно об'єднувати дрібні дисципліни в більш крупні або приєднувати їх до більш крупних. При цьому мова йде не про механічне об'єднання, а про злиття дисциплін з глибокими міждисциплінарними зв'язками (Янчева, Крайнюк & Пивоваров, 2010).

За баченням О. Шароватової, підготовку до професійної діяльності необхідно розглядати як цілеспрямований процес формування готовності до виконання комплексу завдань, які слід виконувати випускникові освітньої установи у сфері оплачуваної праці (Шаратова, 2009). На думку Г. Алексєєвої, підготовка до професійної діяльності є системою організаційних і педагогічних заходів, які забезпечують формування в особистості професійної спрямованості, загальних і професійних знань, умінь, навичок і професійної готовності (Алексєєва, 2012).

Необхідність підвищення якості підготовки фахівців медичної галузі зумовлена певними чинниками. О. Яковець виділила наступні, вплив яких значною мірою викликає необхідність перегляду ролі і місця сестринської



справи, переорієнтації змісту медсестринської освіти в зв'язку з формуванням багатоукладної системи охорони здоров'я та адаптації її до ринкових умов. До них передусім відносяться особливості медико-демографічних процесів та їх прогностичний характер, захворюваності та старіння населення, способу його життя, а також ті, що впливають із загальних напрямків реформування системи охорони здоров'я України, в яких роль, місце діяльності і функції медичних сестер набувають якісно нового змісту, зокрема: пріоритетний розвиток первинної медико-санітарної допомоги, в тому числі на засадах сімейної медицини; розширення стаціонарозамінюючих форм лікування; формування закладів медико-соціальної допомоги хронічним хворим, інвалідам і людям похилого віку, паліативної медицини та хоспісів; активізація профілактичної діяльності; створення сектора додаткових можливостей (Янковець, 2011).

Проте проблема підготовки фахівців сестринської справи до професійної діяльності головними якостями яких є компетентність, мотивація і професіоналізм, є актуальною і нині, оскільки зумовлена запитами ринку праці та є індикатором оцінки якості роботи будь-якого медичного закладу.

Підготовка фахівців медсестринської справи здійснюється у галузі знань «Медицина», напрям підготовки «Сестринська справа» та отримують кваліфікацію «медична сестра».

Сестринська справа визначається: як сукупність наукових знань, що ґрунтуються на результатах досліджень у сестринській справі та інших науках, навичок і умінь, що досягли високого рівня реалізації; галузь знань і професійна діяльність з догляду за хворими; академічна (начальна) дисципліна як особлива галузь знання, професія; прикладна дисципліна, що заснована на знаннях і навичках; прикладна дисципліна, що включає дидактичну і клінічну підготовку; професійна сестринська практика (Булаєвська, 2011).

Сучасне трактування Всесвітньої організації охорони здоров'я сестринської справи містить в собі не лише визначення її місця і завдань в системі охорони здоров'я, а й чітко окреслює коло функціональних обов'язків: «Сестринська справа – це складова частина системи охорони здоров'я, яка направлена на вирішення про-

блем індивідуального та громадського здоров'я населення в мінливих умовах навколишнього середовища. Сестринська справа включає в себе діяльність по зміцненню здоров'я, профілактиці захворювань, наданню психосоціальної допомоги особам, які мають фізичні та (або) психічні захворювання, а також непрацездатним всіх вікових груп. Сестринська справа охоплює фізичні, інтелектуальні та соціальні аспекти життя в тій мірі, в якій вони впливають на здоров'я, виникнення хвороби, непрацездатність та смерть» (Сучасні підходи до вищої медичної освіти в Україні (з дистанційним під'єднанням ВМ(Ф) НЗ України за допомогою відеоконференц-зв'язку), 2017).

Європейське регіональне бюро Всесвітньої організації охорони здоров'я визначає 4 основних функції, які повинні виконувати у суспільстві фахівці медсестринської справи:

забезпечення і керівництво допомогою фахівців сестринської справи. Це включає сприяння, профілактику, лікування, реабілітацію або підтримку окремих осіб, сімей і груп людей;

навчання пацієнтів, їх родичів, клієнтів, персоналу, учнів шкіл, студентів медичних навчальних закладів медико-санітарної допомоги. Це включає забезпечення інформації для досягнення здоров'я, санітарну просвіту, оцінку результатів освітніх програм, надання допомоги фахівцям медсестринської справи в набутті нових знань і навичок;

діяльність фахівців сестринської справи як ефективного члена бригади медико-санітарної допомоги. Це включає ефективну співпрацю з іншими людьми під час планування, організації, управління й оцінки сестринських служб як складової загальної служби охорони здоров'я;

розвиток практики сестринської справи через критичне мислення і наукові розробки. Це включає розробку нових методів роботи, визначення сфери досліджень, участь у таких дослідженнях фахівців сестринської справи і використання ними визначених культурних, етичних і професійних стандартів під час проведення наукових досліджень у сестринській справі.

За баченням М. Шегедин, В. Іванова, З. Алтинбекова роль фахівців сестринської справи визначається займаною посадою і функцією в системі охорони здоров'я:

незалежна – передбачає дії, які виконує фахівець сестринської справи за власної ініціативи як самостійного спеціаліста в системі охорони здоров'я, без вказівок і призначень лікаря або інших спеціалістів: в рамках реалізації медсестринського процесу; медсестра–педагог; медсестра-організатор (координатор, контролер); медсестра, яка займається науково-дослідницькою роботою;

залежна – виконується на підставі письмових призначень лікаря і під його наглядом – помічник лікаря;

взаємозалежна – передбачає спільну діяльність фахівця сестринської справи з лікарем та іншими спеціалістами (Шегедин, Іванова & Алтинбекова, 2008).

Дослідники вважають, що найважливіші функції фахівців сестринської справи – забезпечення постійного спостереження за пацієнтами протягом усього життя, висококваліфікованого загального, диференційованого чи інтенсивного догляду за хворими в умовах стаціонарної допомоги населенню, розвиток нових форм амбулаторної допомоги, забезпечення динамічного патронажного спостереження за пацієнтами вдома, проведення реабілітаційного та відновного лікування в спеціалізованих відділеннях чи відділеннях сестринського догляду – їх якісне виконання можливе лише за умови достатньої та адекватної підготовки фахівців сестринської справи усіх рівнів з використанням сучасних освітніх технологій.

За баченням О. Маркович, під підготовкою фахівців сестринської справи до професійної діяльності необхідно розуміти вільне володіння ними фундаментальними і спеціальними знаннями та вміннями у питаннях комплексного догляду за пацієнтами; здатність

до аналітичного мислення і творчої діяльності, що пов'язана з їхніми функціональними обов'язками; здатність до самовдосконалення і самонавчання тощо (Маркович, 2008).

У межах нашого дослідження під підготовкою фахівців сестринської справи до професійної діяльності будемо розуміти процес набуття знань, формування вмінь та навичок обраного фаху, з метою досягнення високого професіоналізму, різнопланової компетентності та ефективного виконання медсестринських функцій та завдань.

**Висновки.** Розглянуті теоретичні аспекти проблеми підготовки фахівців сестринської справи до професійної діяльності дали можливість розкрити сутність таких понять як «підготовка», «підготовка фахівців», «підготовка до професійної діяльності», «сестринська справа», «фахівці сестринської справи». Підготовка кваліфікованих конкурентоспроможних бакалаврів сестринської справи з високим рівнем професійних знань, умінь, навичок, досвіду виконання професійних функцій, які відповідають сучасним вимогам науково-технічного прогресу, потребам у соціально-активних членах суспільства, формування у них наукового світосприйняття, творчого мислення, кращих людських якостей і національної свідомості, є важливим завданням професійної освіти. Тому нині наріжним каменем професійної підготовки майбутніх бакалаврів сестринської справи в медичних академіях є оновлення й технологізація освітнього процесу. **Перспективи подальших наукових розвідок** вбачаємо у теоретичному обґрунтуванні необхідності застосування до підготовки фахівців сестринської справи до професійної діяльності особистісно орієнтованого підходу.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Алексеева Г. М. Сутність і структура готовності майбутніх соціальних педагогів до застосування комп'ютерних технологій у професійній діяльності. *Збірник наукових праць Бердянського державного педагогічного університету*. 2012. № 2. С. 9–14.
2. Алтинбекова З. Б., Іванова В. А., Шегедин М. Б. До питання про базову модель медсестринства в Україні. *Медсестринство*. 2008. № 2. С. 34–36.
3. Булаєвська О. В. Складова професійної діяльності середнього медичного персоналу: професійне спілкування. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України*. 2011. № 60. С. 124–127.
4. Васильєва М. Теоретичні основи деонтологічної підготовки педагога: дис... д-ра пед.наук: 13.00.04. Х.: ХДПУ ім. Г.С. Сковороди, 2003. 432с.
5. Гончаренко С. У. Український педагогічний словник. К.: Либідь, 1997. 376 с.

6. Крайнюк Л.М., Янчева Л. М., Пивоваров Л. М. Інноваційні підходи до формування фахівця нового покоління з напрямку підготовки «харчові технології та інженерія». *Модернізація вищої освіти та проблеми управління якістю підготовки фахівців. Теоретико-методологічні та практичні проблеми підготовки фахівців за ступеневою системою освіти* : VIII Всеукр. наук.-метод. конф., 23 вересня 2010 р. / редкол. : О. І. Черевко. Харків : ХДУХТ, 2010. С. 9–13.

7. Маркович О. В. Формування професійних умінь майбутніх медичних сестер хірургічного профілю засобами алгоритмізації: автореф. дис... канд. пед. наук: 13.00.04; АПН України, Інститут педагогічної освіти і освіти дорослих. К., 2008. 20 с.

8. Нечаева Л. В. Подготовка студентов педагогических институтов к взаимодействию с учащимися: автореф. дис... канд. пед. наук: 13.00.04. Харьков, 1991. 18 с.

9. Професійна освіта : навчальний посібник / укл. С. У. Гончаренко та ін. ; за ред. Н. Г. Ничкало. К. : Вища школа, 2000. 149 с.

10. Шароватова О. П. Дослідження готовності майбутніх соціальних педагогів до здійснення гувернерської діяльності. *Вісник Харківської державної академії культури* : зб. наук. пр. 2009. Вип. 27. С. 224-232.

11. Сучасні підходи до вищої медичної освіти в Україні (з дистанційним під'єднанням ВМ(Ф) НЗ України за допомогою відеоконференц-зв'язку) (2017) : матеріали XIV Всеукр. наук.-практ. конф. з міжнар. участю, присвяченої 60-річчю ТДМУ (Тернопіль, 18–19 трав. 2017 р.) : у 2 т. / Терноп. держ. мед. ун-т імені І. Я. Горбачевського. Тернопіль : ТДМУ, 2017. С. 67–72.

12. Яковець О. В. Самостійна робота як важливий чинник у формуванні професійних умінь студентів медичних коледжів. *Вища освіта в медсестринстві: проблеми і перспективи* : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (Житомир, 10-11 листоп. 2011 р.). Житомир, 2011, С. 261–263.

#### REFERENCES:

1. Aliexsieva, H. M. (2012) Sutnist i struktura hotovnosti maibutnix sotsialnykh pedahohiv do zastosuvannia kompiuternykh tekhnolohii u profesiinii diialnosti [The essence and structure of the readiness of future social pedagogues to use computer technologies in their professional activities]. *Zbirnyk naukovykh prats Berdianskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu – Collection of scientific works of Berdyan State Pedagogical University*, 2, 9–14. [in Ukrainian].

2. Altynbekova, Z. B., Ivanova, V. A., Shehedyn, M. B. (2008) Do pytannia pro bazovu model medsestrynstva v Ukraini [To the question of the basic model of nursing in Ukraine]. *Medsestrynstvo – Nursing*, 2, 34-36. [in Ukrainian].

3. Bulaievska, O. V. (2011) Skladova profesiinoi diialnosti serednoho medychnoho personalu: profesiine spilkuvannia [Component of professional activity of middle medical personnel: professional communication]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademii Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy – Collection of scientific works of the National Academy of the State Border Service of Ukraine*, 60, 124-127. [in Ukrainian].

4. Vasylieva, M. (2003) Teoretychni osnovy deontolohichnoi pidhotovky pedahoha [Theoretical foundations of the deontological training of a teacher]: dys... d-ra ped.nauk: 13.00.04. Kh.: KhDPU im. H.S. Skovorody. [in Ukrainian].

5. Honcharenko, S. U. (1997) Ukrainskyi pedahohichnyi slovnyk [Ukrainian Pedagogical Dictionary]. K.: Lybid. [in Ukrainian].

6. Krainiuk, L.M., Yancheva, L. M., Pyvovarov, L. M. (2010) Innovatsiini pidkhody do formuvannia fakhivtsia novoho pokolinnia z napriamu pidhotovky «kharchovi tekhnolohii ta inzheneriia» [Innovative approaches to the formation of a new generation specialist in the field of training "food technologies and engineering"]. *Modernizatsiia vyshchoi osvity ta problemy upravlinnia yakistiu pidhotovky fakhivtsiv. Teoretyko-metodolohichni ta praktychni problemy pidhotovky fakhivtsiv za stupenevuiu systemoiu osvity – Modernization of higher education and problems of quality management of specialist training. Theoretical, methodological and practical problems of training specialists according to the degree system of education: VIII Vseukr. nauk.-metod. konf., 23 veresnia 2010 r.* / redkol. : O. I. Cherevko. Kharkiv : KhDUKht. [in Ukrainian].

7. Markovych, O. V. (2008) Formuvannia profesiynykh umin maibutnykh medychnykh sester khirurhichnoho profilu zasobamy alhorytmizatsii [Formation of professional skills of future nurses of a surgical profile by means of algorithmization]: avtoref. dys... kand. ped. nauk: 13.00.04; APN Ukrainy, Instytut pedahohichnoi osvity i osvity doroslykh. K. [in Ukrainian].

8. Nechaeva, L. V. (1991) Podhotovka studentov pedahohycheskykh ynstytutov k vzaymodeistviyu s uchashchymysia [Preparation of students of pedagogical institutes to interact with students]: avtoref. dys... kand. ped. nauk: 13.00.04. Kharkov. [in Ukrainian].

9. Profesiina osvita (2000) [Professional education] : navchalnyi posibnyk / ukl. S. U. Honcharenko ta in. ; za red. N. H. Nychkalo. K. : Vyshcha shkola –. [in Ukrainian].

10. Sharovatova, O. P. (2009) Doslidzhennia hotovnosti maibutnikh sotsialnykh pedahohiv do zdiisnennia huvernerskoi diialnosti [Research on the readiness of future social pedagogues to carry out governorship activities]. *Visnyk Kharkivskoi derzhavnoi akademii kultury : zb. nauk. pr – Bulletin of the Kharkiv State Academy of Culture: coll. of science pr*, 27, 224-232. [in Ukrainian].

11. Suchasni pidkhody do vyshehoi medychnoi osvity v Ukraini (z dystantsiinym pidiednanniam VM(F) NZ Ukrainy za dopomohoiu videokonferents-zv'iazku) [Modern approaches to higher medical education in Ukraine (with remote connection of the Ministry of Health of Ukraine through video conferencing)] (2017) : materialy XIV Vseukr. nauk.-prakt. konf. z mizhnar. uchastiu, prysviachenoї 60-richchiu TDMU (Ternopil, 18–19 trav. 2017 r.) : u 2 t. / Ternop. derzh. med. un-t imeni I. Ya. Horbachevskoho. Ternopil : TDMU, 1. [in Ukrainian].

12. Iakovets, O. V. (2011) Samostiina robota yak vazhlyvyi chynnyk u formuvanni profesiinykh umin studentiv medychnykh koledzhiv [Independent work as an important factor in the formation of professional skills of medical college students]. *Vyscha osvita v medsestrynstvi: problemy i perspektyvy: materialy Vseukr. nauk.-prakt. konf.* – Higher education in nursing: problems and prospects: materials of Vseukr. science and practice conf. (Zhytomyr, 10-11 lystop. 2011 r.). Zhytomyr, 261–263. [in Ukrainian].

УДК 378. 147:614.253

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-12>

**Микола ЛУКАЩУК**

кандидат педагогічних наук, викладач хімії, Комунальний заклад вищої освіти «Рівненська медична академія» Рівненської обласної ради, вул. М. Карнаухова, 53, м. Рівне, Україна, 33018

**ORCID:** 0000-0001-9177-7808

**Scopus Author ID:** 57283621400

**Бібліографічний опис статті:** Лукащук, М. (2022). Теоретичні аспекти проблеми підготовки фахівців сестринської справи до професійної діяльності. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 93–99, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-12>

## ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ІДЕНТИЧНОСТІ МЕДИЧНОГО ПРАЦІВНИКА НА ЗАСАДАХ КУЛЬТУРОЛОГІЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ В ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ ХІМІЧНИХ ДИСЦИПЛІН

У статті розкрито сутність поняття «культурологічна компетентність», та вказано підходи науковців до її тлумачення. Подано узагальнене визначення поняття «культурологічна компетентність майбутнього медичного працівника». Цю компетентність ми розуміємо як складову професійної компетентності, яка окреслена колом необхідних та достатніх компетенцій, котрі потрібні для оперативного і якісного вирішення завдань по збереженню життя (покращенню здоров'я, профілактики та гігієни) пацієнта, здатністю адекватно оцінити клінічну ситуацію в якій він перебуває враховуючи особливості соціокультурного простору. Представлено наше розуміння професійної ідентичності майбутнього медичного працівника середньої ланки, яке розуміємо як усвідомлення власної приналежності до цієї професії й уявлення особистої відповідності критеріям, які визначені особливістю професії медичного працівника та співставлення свого рівня професійної компетентності з ідеалом медичного працівника.

Визначено низку чинників через які зростає значимість та роль культурологічної компетентності у формуванні професійної ідентичності майбутнього медичного працівника середньої ланки.

Підкреслено те, що формування культурологічної компетентності майбутніх медичних працівників не потребує продовження термінів навчання, або введення до навчального плану додаткових дисциплін і спецкурсів, а можливе за умови відображення культурологічної проблематики в змісті хімічних дисциплін.

Обґрунтовано шляхам розвитку культурологічної компетентності студентів через форми та прийоми роботи у в процесі навчання блоку хімічних дисциплін. Серед них пріоритетними є: інтегративний підхід шляхом вивчення історичного та культурологічного матеріалу, системне використання інформаційно-комунікаційних технологій, організація позааудиторної роботи студентів, організація проведення експерименту, корекція готовності викладачів хімії до культурологічного спрямування освітньої діяльності.

Визначено напрямки подальших досліджень, що спрямовані на проведенні аналізу статусу професійної ідентичності студентів-медиків різних курсів денної та вечірньої форми навчання.

**Ключові слова:** професійна ідентичність; компетентність; культурологічна компетентність; навчання хімії; студент; майбутні медичні працівники.

**Mykola LUKASHCHUK**

Candidate of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Chemical and Pharmaceutical Disciplines, Municipal Institution of Higher Education "Rivne Medical Academy" of Rivne Regional Council, (Rivne, Ukraine)

**ORCID:** 0000-0001-9177-7808

**Scopus Author ID:** 57283621400

**To cite this article:** Lukashchuk, M. (2022). Teoretychni aspekty problemy pidhotovky fakhivtsiv sestrynskoi spravy do profesiinoi diialnosti [The role of cultural competence in forming the professional identity of the future healthcare worker in the process of chemistry training]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 93–99, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-12>

## THE ROLE OF CULTURAL COMPETENCE IN FORMING THE PROFESSIONAL IDENTITY OF THE FUTURE HEALTHCARE WORKER IN THE PROCESS OF CHEMISTRY TRAINING

*The article describes the essence of the concept of «cultural competence» and indicates the approaches of scientists to its interpretation. The generalized definition of the term «mid-level healthcare worker cultural competence» is presented. We understand this competence as a component of professional competence, which is defined by the range of necessary and sufficient competencies required for prompt and high-quality solving of life saving tasks (improvement of health, prevention and hygiene) of the patient, ability to adequately assess the clinical situation in which the patient is, taking into account his social and cultural space. Our understanding of the professional identity of the future mid-level healthcare worker is presented, it is understood as the awareness of one's own affiliation with the profession of healthcare worker and the presentation of personal compliance with the criteria, which are determined by the peculiarity of the profession of the medical worker and the comparison of their level of professional competence with the ideal of the healthcare worker.*

*A number of factors have been identified, through which the importance and the role of cultural competence in forming the professional identity of the healthcare worker increases.*

*It is emphasized that the formation of cultural competence of healthcare workers does not require the extension of training periods, or the introduction of additional disciplines and special courses in the curriculum, and it is possible under the condition that cultural issues are included in the content of the chemical disciplines.*

*The ways of development of cultural competence of students through forms and methods of work in the course of chemical training are grounded. Among them, the priorities are: an integrative approach by studying historical and cultural material, systematic use of information and communication technologies, organizing self-depended work of students, organizing an experiment, correcting the readiness of teachers of chemistry to cultural orientation of educational activity.*

*The directions of further researches are determined; they are pointed at analyzing status of the professional identity of medical students of various courses of day and evening forms of education.*

**Key words:** professional identity; competence; cultural competence; chemistry training; student; future healthcare workers.

**Актуальність проблеми.** Розвиток людської цивілізації завдячує технічному прогресу та розвитку культури. Водночас із стрімким розвитком оголилися проблеми людства, які з локальних переросли в глобальні та набули актуальності й стали життєво важливими для всіх народів світу. Метаморфози природи, що спричинені діяльністю людини, пандемічні виклики, вбогість одних й зверх багатство інших, воєнна агресивність тоталітарних режимів та протистояння ним демократичної частини світу, технічне й інтелектуальне озброєння людства водночас із відмиранням традиційних духовних цінностей набуло планетарного масштабу.

Ці та низка інших викликів, що постали перед людством у значній мірі впливають на стани, які пов'язані із здоров'ям людей у всіх його проявах та якість і тривалість життя. Відтак зволікання у запровадженні превентивних дій, що нівелюють, або послаблюють вплив таких викликів не можуть бути виправданими. Розуміючи це система охорони здоров'я України твердо стала на шлях реформування, роблячи акцент на удосконаленні системи фахової підготовки медичних кадрів, серед яких чільне місце припадає фахівцям середньої ланки.

Нашим науковцям належить глибоке усвідомлення того, що «поряд з низкою загальнопланетарних проблем проблемне поле української нації виглядає розлеглишим і складнішого рельєфу, ніж у більшості модерних націй і лежить у площині української культури» (Дзюба, 2009). Викреслена проблема має безпосереднє відображення у Законах України «Про освіту», «Про вищу освіту», у «Законі про мови», «Стратегії розвитку вищої освіти в Україні на 2022-2032 роки» де зосереджено увагу на необхідність забезпечення культурного і духовного розвитку особистості, формування культурологічної компетентності громадян та вказано шляхи реалізації через «утвердження української мови на всій території України в усіх сферах суспільного життя, що забезпечує єднання українського суспільства та зміцнення його української ідентичності» й «міжнародній співпраці та реформам, обміну знаннями, академічній мобільності студентів і персоналу, набуттю учасниками освітнього процесу міжнародних та міжкультурних компетентностей (Стратегія розвитку, 2022).

Відтак проблема формування професійної ідентичності майбутніх медичних фахівців середньої ланки перебуває в центрі уваги й простежується через специфіку фахової під-

готовки на засадах компетентного підходу. В умовах, що склалися одним із напрямків компетентнісного підходу є формування не тільки якостей, що ідентифікують фахівця як медика, але й культурологічної компетентності із сформованою сукупністю відповідних компетенцій. Ми вважаємо, що прищеплення та повноцінне формування цих компетенцій можливе не тільки в процесі вивчення дисциплін культурологічного циклу, але й у ході вивчення блоку хімічних дисциплін.

**Аналіз наукових досліджень і публікацій** засвідчує важливість розуміння проблеми професійної ідентичності у становленні майбутнього фахівця, адже дана тема широко обговорюється у багатьох напрямках філософії, психології, соціології та педагогіці. На можливість знаходження ідентичності шляхом соціалізації ще наголошував вітчизняний філософ Г. Сковорода. В межах філософського осмислення самосвідомості Г. Ільїна визначила концептуальні засади проблеми самоідентичності. Вивченню питань соціально-філософського аналізу мови як засобу соціокультурної самоідентифікації особистості присвячені дослідження А. Кургузова. Дослідники О. Жирун та О. Романишина вивчали питання формування професійної ідентичності педагога. Вивченню типів педагогічної професійної ідентичності присвячені праці К. Тороп. Питанням становлення професійної ідентичності медичних працівників, зокрема медичного психолога присвячена низка досліджень А. Борисюк.

**Метою дослідження** є обґрунтування важливості культурологічної компетентності у формуванні професійної ідентичності майбутніх медичних працівників середньої ланки та ролі в цьому процесі хімічних дисциплін. Зважаючи на представлену мету, основними її завданнями визначено:

- проведення аналізу публікації дослідників на предмет розуміння поняття «культурологічна компетентність» і підходи до його тлумачення;
- сформулювати власне розуміння культурологічної компетентності медичних фахівців середньої ланки;
- охарактеризувати вплив культурологічної компетентності майбутніх медичних фахівців середньої ланки на формування професійної

ідентичності в процесі вивчення блоку хімічних дисциплін.

**Виклад основного матеріалу.** Рамки вимог щодо фахової компетентності, професійних якостей сучасного медичного працівника середньої ланки та їх місце в системі охорони здоров'я регламентовані галузевими стандартами освіти (освітньо-кваліфікаційними характеристиками, освітньо-професійними програмами) та іншими вимогами. Зокрема в етичному Кодексі медичної сестри України вказано, що «в житті і діяльності медичної сестри органічно поєднуються: високий професіоналізм, гуманність та милосердя, глибоке поняття громадського значення своєї роботи, комплексний всебічний догляд за пацієнтами і полегшення їх страждань, відновлення здоров'я і реабілітація, сприяння зміцненню здоров'я і попередженню захворювань, готовність цілком віддати себе обраній професії, навіть в самих тяжких умовах» (Етичний Кодекс, 2016). З огляду на це фахова компетентність майбутнього медичного працівника середньої ланки повинна бути наповнена не тільки сукупністю професійних якостей, але й культурологічними компетенціями, котрі формують культурологічну компетентність. З огляду на це неодмінною складовою професійної компетентності майбутніх медичних фахівців є культурологічна компетентність, яка передбачає вжиток української мови, мовного етикету, мовної поведінки та культури міжнародного спілкування (Картава, 2014: 287).

Проведений аналіз тлумачення поняття «культурологічна компетентність» у наукових публікаціях показав спектр підходів серед яких нам найбільш імпонує той, що подається в розумінні здатності ідентифікувати себе із цінностями професійного середовища (Князян, 2011). Первинним професійним середовищем з яким вступає у взаємодію майбутній медичний працівник є медичний заклад освіти де перебуваючи в лавах студентів він «поринає» в середовище, яке максимально відображає умови фахової діяльності, що породженні світом із притаманними йому особливостями, завданнями та проблемами. Саме цей етап і характеризується як фундаментальний з точки зору формування професійної ідентичності майбутнього медичного працівника.

Поміж науково-педагогічних досліджень представлені й такі, які культурологічну компетентність вивчають як складову структури загальнокультурної компетентності, як інтегровану якість, що виражається вихованістю індивіда, його широким кругозором, здатністю сприймати себе й інших в якості представника певної етнокультури, вміння вирізнити розбіжне та загальне в різних культурах і світосприйнятті їх носіїв (Галенко, 2012) та уможливує проведення діалогу культур, що дає можливість фахівцю проводити міжкультурну взаємодію (Коваленко, 2015: 171). Таке пояснення цього поняття є актуальним з позиції підходу в питаннях культивування найкращих світових традицій і технологій догляду за хворими, які проявляються у процесі співпраці. Саме тому перед колективом викладачів постають завдання сформувані у студентів-медиків низку таких якостей та рис, що здатні цьому сприяти, як-от професіоналізм, креативність, мобільність, висока комунікативна здатність до встановлення ділової комунікації з колегами-фахівцями інших країн. Підтвердження цього знаходимо у міркуваннях Л. Маслак який стверджує, що знання іноземної мови та вправність впроваджувати її у фахову діяльність є складовою культурологічної компетентності (Маслак, 2009).

Проводячи аналіз культурологічної компетентності дослідниця К. Савченко розглядає її як «знання про історію, мову, невербальну поведінку, світогляд, табу, цінності, норми, звички, традиції, символи, поведінкові кліше, уподобання, соціальні ролі тощо» (Савченко, 2012: 223). Ми теж вважаємо це тлумачення важливим по відношенню до особистості медичного працівника, адже перебуваючи у вербальній взаємодії з пацієнтом, проводячи оглядові маніпуляції встановлює первинний сестринський діагноз, а виконуючи призначення лікаря оцінює поведінку пацієнта та планує стратегію догляду чим прискорює настання видужування.

Фахова діяльність медичного персоналу середньої ланки спрямована в першу чергу на задоволення потреб пацієнта і вирішення не тільки нагальних проблем, а й таких, котрі можуть виникнути в недалекій та віддаленій перспективі і передбачає тривалу педагогічну взаємодію з ним. Оскільки в такому процесі пацієнтом може фігурувати як окрема людина,

сім'я й родина, або якась сукупність людей, майбутній медичний працівник має оперувати елементами культурологічної компетентності вчителя. З позиції нашого дослідження культурологічна компетентність майбутнього медичного працівника як вчителя передбачає наявність в неї культурологічних знань, умінь та культурологічної готовності до їх застосування в конкретній клінічній ситуації, які націлені на взаємодію з пацієнтом та сприяють його якнайшвидшому одужанню.

Серед трактувань даної дефініції із найбільш розширеним змістом, яке нам вдалося проаналізувати є таке, що формулює О. Федорцова. Дослідниця розуміє культурологічну компетентність як «якісну, інтегративну професійно-особистісну характеристику, що визначається наявністю: загальнокультурних та національно-культурних знань та умінь виокремлювати спільне й відмінне в культурах різних країн, світосприйнятті їх носіїв, духовно-моральні властивості та мотиваційно-ціннісні орієнтації; здатності до національної самоідентифікації, інтеграції й рефлексії, готовності здійснювати культуротворчу діяльність, вести міжкультурний діалог; усвідомлення себе та кожної особистості як носія певної етнокультури, що дає змогу ефективно протидіяти антигуманістичним тенденціям у професійній діяльності і повсякденному житті» (Федорцова, 2016: 41).

Наведені тлумачення дефініції «культурологічна компетентність» описують коло якостей, які притаманні сучасному медичному фахівцю. Разом з тим важливо зауважити, що крім загальних культурологічних знань про загальнонародську і загальнонаціональну культуру сучасний фахівець в галузі медицини повинен оперувати національно-культурними матеріалами. Підтвердження наших міркувань в цій площині знаходимо в трактуванні Л. Хомич, яка стверджує, що «національні цінності базуються на світових цінностях і підпорядковані меті приєднання до загальнонародської культури, оскільки нормальна національна самосвідомість вільно сприймає всі культурно-духовні цінності людства» (Хомич, 2012: 18).

Поклавши в основу вище зазначені міркування вважаємо, що випускники вищого медичного закладу освіти повинні бути із сформованою культурологічною компетент-



ністю в цілому. Адже після закінчення фахової підготовки вони обирають широку географію працевлаштування в Україні та за її межами де пацієнтами можуть бути люди, які різняться за віросповіданням, мовними і культурними звичками та традиціями. Аргументи на користь цього знаходимо у монографії під редакцією О. Овчарука де розкрито сутність цієї компетентності як «здатності жити та взаємодіяти з іншими в умовах полікультурного суспільства, керуючись національними та загальнолюдськими духовними цінностями» (Бібік, 2004: 69).

На засадах аналізу опрацьованих наукових та дослідницько-педагогічних публікацій, власних спостережень та особливостей підготовки і фахової діяльності «культурологічну компетентність медичного працівника» ми розуміємо як невід'ємну складову професійної компетентності, яка окреслена колом необхідних та достатніх компетенцій, котрі потрібні для оперативного і якісного вирішення завдань по збереженню життя (покращенню здоров'я, профілактики та гігієни) пацієнта, здатністю адекватно оцінити клінічну ситуацію в якій він перебуває враховуючи особливості соціокультурного простору.

Беручи до уваги те, що нами раніше ґрунтовно проведений аналіз генезису та підходи вчених до тлумачення поняття «професійна ідентичність» не будемо вдаватися до аналізу цього поняття, а лише сформулюємо власне розуміння дефініції «професійної ідентичності медичного працівника», яку розуміємо як усвідомлення власної приналежності до цієї професії й уявлення особистої відповідності критеріям, які визначені особливістю професії медичного працівника та співставлення свого рівня професійної компетентності з ідеалом медичного працівника (Лукашук, 2018: 350].

Умовиводи, що виложено вище дозволяють стверджувати, що культурологічна компетентність майбутнього медичного працівника середньої ланки спрямована на розвиток:

- світоглядних позицій та ідентифікації себе як фахівця що надає медичні послуги у відповідності до займаної посади;
- глибокого усвідомлення особистої відповідальності як повноправного члена системи охорони здоров'я за долю людини, країни та людства в цілому;

- самовдосконалення та самоосвіти з метою збереження та покращення найкращих загальносвітових та національних медичних традицій і цінностей доказової медицини;

- комунікативної культури спілкування з пацієнтами, котрі мають різні погляди та іноді спотворене світосприйняття, що викликане недугою.

Нашим переконанням є те, що формування культурологічної компетентності майбутніх медичних працівників середньої ланки не потребує продовження термінів навчання, або введення до навчального плану додаткових дисциплін і спецкурсів, а можливе за умови відображення культурологічної проблематики в змісті фундаментальних дисциплін, зокрема хімічних. Приміром, в процесі навчання курсу хімічних дисциплін ми практикуємо інтегративний підхід, котрий реалізується шляхом вивчення історичного та культурологічного матеріалу, що пов'язаний з темою, яка вивчається. Особливо ефективним в цьому розрізі виступає впровадження методу проектів позаяк він пролонгується на позааудиторну діяльність студента. Синергетична взаємодія з ним проявляється у випадку системного використання інформаційно-комунікаційних технологій в якості як потужного засобу навчання так і навчальної технології.

Поряд з цим вимагає змін і організація позааудиторної роботи студентів, зміст якої потрібно наповнити заходами, котрі об'єднують інтелектуальний та емоційний вплив. Вважаємо, що тематика цих заходів повинна перебувати в органічному зв'язку з матеріалом, який студенти опрацьовують впродовж лекційних, лабораторних і практичних занять з хімії.

Специфікою навчання хімії є виконання хімічного експерименту і його виконання студентом є одним із найбільш дієвих у формуванні культурологічної компетентності майбутнього медичного працівника, адже він сприяє формуванню внутрішньої мотивації. Вагомим підсиленням культурологічної спрямованості хімічного експерименту є розкриття викладачем, або студентами історичних аспектів його першого виконання та авторства. У разі прив'язаності хімічного експерименту до медичної теорії, або безпосереднього використання в практичній медицині вважаємо за потребу акцентування уваги на історичний аспект та його вплив на

подальший розвиток медицини. Таким чином заздалегідь сплановане проведення хімічного експерименту, з позиції міжпредметної інтеграції та фахового спрямування, викладач отримує в своє розпорядження дієвий інструмент формування культурологічної компетентності яка є матрицею професійної ідентичності майбутнього медичного працівника.

**Висновки з даного дослідження** дозволяють вважати, що культурологічний підхід до викладання блоку хімічних дисциплін санкціонує імплементацію майбутніх працівників середньої ланки в світ цінностей, знання та зміст професійної культури, що вирізняє їх серед фахівців інших галузей. З цією метою вбачаємо створення дидактичного комплексу

інформаційного забезпечення навчання блоку хімічних дисциплін (авторських посібників, методичних рекомендацій, практикумів, задачників та ін.), які збагачують зміст існуючих підручників матеріалом культурологічного змісту. Також потребує коректування готовності викладачів хімії до культурологічного спрямування освітньої діяльності шляхом проведення низки заходів (тематичні курси, стажування, вивчення досвіду тощо).

Проведене дослідження не вичерпує всі аспекти даної проблеми, а відтак, **перспективи подальших досліджень в даному напрямку вбачаємо** у проведенні аналізу статусу професійної ідентичності студентів-медиків різних курсів денної та вечірньої форми навчання.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Галенко А. М. Культурологічна компетентність у структурі професійних компетентностей студентів філологічних спеціальностей. *Науковий вісник Донбасу*. 2012. № 4. URL: <https://www.google.com/url?sa=t&rc=t=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi99OWh36b7AhVohosKHamdAUYQFnoECA4QAQ&url=http%3A%2F%2Fnvd.luguniv.edu.ua%2Farchiv%2FN20%2F12gamsfs.pdf&usg=AOvVaw24-aqCWm0AKvhCqQhfp-V> (дата звернення: 11.11.2022)
2. Дзюба Іван. Проблеми і перспективи української культури. *Радіо Свобода* : веб-сайт. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/1495357.html> (дата звернення: 11.11.2022)
3. Етичний Кодекс медичної сестри України. URL: [http://medmedsestrunstvo.blogspot.com/2016/03/blog-post\\_16.html](http://medmedsestrunstvo.blogspot.com/2016/03/blog-post_16.html) (дата звернення: 11.11.2022)
4. Картава Ю. Професійна компетентність учителя української мови та літератури як педагогічна категорія. *Наукові записки [Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка]. Сер. : Педагогічні науки*. 2014. Вип. 132. С. 285-288.
5. Князян М. Роль самостійно-дослідницької діяльності у формуванні системи компетентностей майбутніх учителів іноземних мов. *Наукові записки КДПУ. Серія : Педагогічні науки. – Кіровоград : КДПУ*. 2011. Вип. 97. С. 3–6.
6. Коваленко О. Ю. Культурологічний підхід при формуванні міжкультурної компетентності у студентів у процесі вивчення іноземних мов студентами-економістами. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Сер. : Філологія*. 2015. № 15. Т. 1. URL: [http://www.vestnik-philology.mgu.od.ua/archive/v15/part\\_1/48.pdf](http://www.vestnik-philology.mgu.od.ua/archive/v15/part_1/48.pdf) (дата звернення: 11.11.2022)
7. Бібік Н. М. Компетентнісний підхід у сучасній освіті: світовий досвід та українські перспективи: монографія за ред. О. В. Овчарука. – Київ : К. І. С., 2004. 112 с.
8. Лукашук М. Роль самоосвітньої компетентності у формуванні професійної ідентичності в процесі природничонаукової підготовки медичних сестер. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія : педагогічні науки*. Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2018. № 3(14). С. 346-358
9. Маслак Л. П. Роль і місце міжкультурної комунікації у процесі формування культурологічної компетентності майбутніх офіцерів. *Науковий Вісник Чернівецького університету*. 2009. Вип. 1. С. 105–111. URL: <http://eprints.zu.edu.ua/3958/> (дата звернення: 11.11.2022)
10. Про схвалення Стратегії розвитку вищої освіти в Україні на 2022-2032 роки // *Відомості Верховної Ради України* (ВВР). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/344/2013> (дата звернення: 8.11.2022)
11. Савченко К. Ю. Формування професійної компетентності майбутніх учителів філологічних спеціальностей засобами моделювання педагогічних ситуацій : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04. Кривий Ріг, 2012. 293 с.
12. Федорцова О. Г. Формування культурологічної компетентності майбутніх інженерів енергетиків у процесі вивчення гуманітарних дисциплін : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04. Житомир. 2016. 311 с.
13. Хомич Л. Зміст культурологічної парадигми розвитку педагогічної освіти. *Культурологічна складова професійного розвитку педагога: Зб. наук. праць*. Київ-Ніжин: Видавець ПП Лисенко М. М., 2012. 126 с.

**REFERENCES:**

1. Halenko A. M. Kulturolohichna kompetentnist u strukturі profesiinykh kompetentnostei studentiv filolohichnykh spetsialnostei. [Cultural competence in the structure of professional competences of students of philological specialties]. A. M. Halenko. Scientific Bulletin of Donbass 2012. № 4. URL: [https://www.google.com/url?sa=t&rc=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewi99OWh36b7AhVohosKHamdAUyQFnoECA4QAQ&url=http%3A%2F%2Fmvd.luguniv.edu.ua%2Farchiv%2FNN20%2F12gamsfs.pdf&usg=AOvVaw24-\\_aqCWm0AKvhCqQhfp-V](https://www.google.com/url?sa=t&rc=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewi99OWh36b7AhVohosKHamdAUyQFnoECA4QAQ&url=http%3A%2F%2Fmvd.luguniv.edu.ua%2Farchiv%2FNN20%2F12gamsfs.pdf&usg=AOvVaw24-_aqCWm0AKvhCqQhfp-V) [in Ukrainian].
2. Dziuba Ivan. Problemy i perspektyvy ukrainskoi kultury. Radio Svoboda. [Problems and prospects of Ukrainian culture. Radio Liberty (Svoboda)]. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/1495357.html> [in Ukrainian].
3. Etychnyi Kodeks medychnoi sestry Ukrainy. [Code of Ethics of the Nurse of Ukraine]. URL: [http://medmedsestrunstvo.blogspot.com/2016/03/blog-post\\_16.html](http://medmedsestrunstvo.blogspot.com/2016/03/blog-post_16.html) [in Ukrainian].
4. Kartava Yu. Profesiina kompetentnist uchytelia ukrainskoi movy ta literatury yak pedahohichna katehoriia. [Professional competence of the teacher of Ukrainian language and literature as a pedagogical category]. Yu Kartava. Scientific notes of Kirovograd Volodymyr Vynnychenko State Pedagogical University. Series Pedagogical Sciences. 2014. Vyp. 132. pp. 285-288 [in Ukrainian].
5. Kniastian M. Rol samostiino-doslidnytskoi diialnosti u formuvanni systemy kompetentnostei maibutnikh uchyteliv inozemnykh mov. [The role of independent research activity in forming the system of competences of future foreign language teachers.] M. Kniastian. Scientific Notes. Series. Pedagogical Sciences. Kirovograd: KDPU. 2011. Vyp. 97. pp. 3-6 [in Ukrainian].
6. Kovalenko O. Yu. Kulturolohichni pidkhid pry formuvanni mizhkulturnoi kompetentnosti u studentiv u protsesi vyvchennia inozemnykh mov studentamy-ekonomistamy. [A cultural approach to the formation of students intercultural competence in the process of studying foreign languages by students-economists]. O. Yu. Kovalenko. Scientific Bulletin of the International Humanities University. Series: Philology 2015. № 15. T. 1. URL: [http://www.vestnik-philology.mgu.od.ua/archive/v15/part\\_1/48.pdf](http://www.vestnik-philology.mgu.od.ua/archive/v15/part_1/48.pdf) [in Ukrainian].
7. Bibik N. M. Kompetentnisnyi pidkhid u suchasni osviti: svitovi dosvid ta ukrainski perspektyvy: Biblioteka z osvithoi polityky: monohrafiia. [Competent Approach in Contemporary Education: World Experience and Ukrainian Perspectives: Library of Education Policy: Monograph]. red. O. V. Ovcharuk. Kyiv. K. I. S., 2004. 112 p. [in Ukrainian].
8. Lukashchuk M. Rol samoosvitnoi kompetentnosti u formuvanni profesiinoi identychnosti v protsesi pryrodnychnaukovoï pidhotovky medychnykh sester. [The role of self-education competence in professional identity formation in the natural and scientific training process of nurses] M. M. Lukashchuk, I. M. Lukashchuk. Collection of scientific works of the National Academy of State Border Guard Service of Ukraine. Series: Pedagogical Sciences. 2018. № 3(14). pp. 346-358 [in Ukrainian].
9. Maslak L. P. Rol i mistse mizhkulturnoi komunikatsii u protsesi formuvannia kulturolohichnoi kompetentnosti maibutnikh ofitseriv. [The role and place of intercultural communication in the process of forming the cultural competence of future officers]. L. P. Maslak. Scientific Bulletin of Chernivtsi University. 2009. Vyp. 1. pp. 105–111. URL: <http://eprints.zu.edu.ua/3958> [in Ukrainian].
10. Pro skhvalennia Stratehii rozvytku vyshchoi osvity v Ukraini na 2022-2032 roky. Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy (VVR). [On the approval of the Strategy for the Development of Higher Education in Ukraine for 2022-2032. Information of the Verkhovna Rada of Ukraine] (BBP). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/286-2022-%D1%80#Text> [in Ukrainian].
11. Savchenko K. Yu. Formuvannia profesiinoi kompetentnosti maibutnikh uchyteliv filolohichnykh spetsialnostei zasobamy modeliuvannia pedahohichnykh sytuatsii. [Formation of professional competence of future teachers of philological specialties by means of modeling pedagogical situations]. dys. ... kand. ped. nauk. spets. 13.00.04. Kryvyi Rig. 2012. 293 p. [in Ukrainian].
12. Fedortsova O. H. Formuvannia kulturolohichnoi kompetentnosti maibutnikh inzheneriv enerhetykiv u protsesi vyvchennia humanitarnykh dystsyplin. [Formation of cultural competence of future energy engineers in the process of studying humanities]. dys. ... kand. ped. nauk. 13.00.04. Zhytomyr. 2016. 311 p. [in Ukrainian].
13. Khomych L. Zmist kulturolohichnoi paradyhmy rozvytku pedahohichnoi osvity. Kulturolohichna skladova profesiinoho rozvytku pedahoha. [Content of the cultural paradigm of pedagogical education development. The cultural component of the teacher's professional development. Collection of scientific works]. Zb. nauk. Prats. Kyiv-Nizhyn. Vydavets PP Lysenko M. M. 2012. 126 p. [in Ukrainian].

## ЗМІСТ

**Ольга БЄДУНКОВА, Влад КЛИМЕНКО**

МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ПРИДАТНОСТІ ЕКОСИСТЕМ ПОРУШЕНИХ  
НЕЗАКОННИМ ВИДОБУТКОМ БУРШТИНУ ДЛЯ ЇХ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ.....3

**Ольга ВАРЖЕЛЬ**

МОНІТОРИНГ СТАНУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ АНТРОПОЦЕНТРИЧНОЇ  
СКЛАДОВОЇ АГРОСФЕРИ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....11

**Любомир ГУЛАЙ, Зоряна ЛАВРИНЮК, Ольга КАРАЇМ, Олена ДЖАМ**

ЕКОЛОГО-СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ АСПЕКТІВ ВЕДЕННЯ  
ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА ТЕРНОПІЛЬСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....17

**Валентина КОЗАК, Інна ІВАЩЕНКО, Володимир ГАЛЯН, Людмила ПІСКАЧ,**

**Іван ОЛЕКСЕЮК**

СКЛОУТВОРЕННЯ В СИСТЕМАХ  $GA_2S_3 - LA(PR)_2S_3 -$   
 $A^iY$  ( $A^i - CU, AG; Y - CL, BR, I$ ) ТА ВЛАСТИВОСТІ УТВОРЕНИХ СТЕКОЛ.....28

**Жолт КОРМОШ, Людмила САВЧУК, Наталія КОРМОШ, Микола ШЕВЧУК,**

**Катерина ЛЮШУК, Тетяна САВЧУК, Світлана КОРОЛЬЧУК**

МЕТФОРМІН-ЧУТЛИВИЙ ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИЙ СЕНСОР.....36

**Едуард ЛИСЕНКОВ**

ВПЛИВ ПОЛІЕТИЛЕГЛІКОЛЕВИХ МОДИФІКАТОРІВ  
НА РОЗПОДІЛ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОТРУБОК У ПОЛІМЕРНІЙ МАТРИЦІ.....45

**Юлія НАКОНЕЧНА, Ангеліна ЧУГАЙ**

ГІДРОМОРФОЛОГІЧНІ ТА ГІДРОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РІЧКИ ЧИЧИКЛІЯ.....52

**Наталія СЛИВКА, Леся САЛІЄВА, Сергій ГОЛОТА, Василь ЖИЛКО, Дмитро ХИЛЮК,**

**Михайло ВОВК**

ДОКІНГОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ДІЇ ПОТЕНЦІЙНОГО НЕСТЕРОЇДНОГО  
ПРОТИЗАПАЛЬНОГО АГЕНТА 3-[(3,5-ДИХЛОРПІРИДИН-2-ІЛ)ОКСИ]-3,4-ДИГІДРО-  
2Н-БЕНЗО[4,5]-ІМІДАЗО[2,1-В][1,3]ТІАЗИНУ.....61

**Наталія СУХА, Людмила ГРИГОР'ЄВА, Анна АЛЕКСЄЄВА**

ІНДИКАТИВНІ ВИМІРЮВАННЯ ВМІСТУ ФОРМАЛЬДЕГІДУ  
В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ М. МИКОЛАЄВА.....69

**Віктор МОШИНСЬКИЙ, Людмила КЛИМЕНКО**

ОБГРУНТУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ  
СТАЛОГО РОЗВИТКУ СЕРЕДНІХ МІСТ.....77

**Михайло ДЕМ'ЯНЧУК**

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ СЕСТРИНСЬКОЇ СПРАВИ  
ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ.....86

**Микола ЛУКАЩУК**

ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ІДЕНТИЧНОСТІ МЕДИЧНОГО ПРАЦІВНИКА НА ЗАСАДАХ  
КУЛЬТУРОЛОГІЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ В ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ ХІМІЧНИХ ДИСЦИПЛІН.....93

## CONTENTS

**Olga BIEDUNKOVA, Vladislav KLYMENKO**

METHODOLOGY OF EVALUATION OF ECOSYSTEMS DAMAGED  
BY ILLEGAL AMBER MINING IN ORDER TO BE RECULTIVATED..... 3

**Olga VARZHEL**

MONITORING OF THE STATE OF ECOLOGICAL SAFETY OF AGROSPHERE  
ANTHROPOCENTRICAL COMPONENT OF RIVNE REGION.....11

**Lubomir GULAY, Zoryana LAVRYNYUK, Olha KARAIM, Olena DZHAM**

ECOLOGICAL AND STATISTICAL ANALYSIS OF MAIN ASPECTS  
OF FORESTRY MANAGEMENT OF TERNOPIL REGION.....17

**Valentyna KOZAK, Inna IVASHCHENKO, Volodymyr HALYAN, Lyudmyla PISKACH,  
Ivan OLEKSEYUK**

GLASS FORMATION REGIONS IN THE SYSTEMS  $GA_2S_3 - LA(PR)_2S_3 -$   
 $A^iY$  ( $A^i - CU, AG; Y - CL, BR, I$ ) AND PROPERTIES OF OBTAINED GLASSES.....28

**Zholt KORMOSH, Liudmyla SAVCHUK, Nataliia KORMOSH, Mykola SHEVCHUK,  
Kateryna LIUSHUK, Tetiana SAVCHUK, Svitlana KOROLCHUK**

METFORMIN-SENSITIVE POTENTIOMETRIC SENSOR.....36

**Eduard LYSENKOV**

THE INFLUENCE OF POLYETHYLENE GLYCOL MODIFIERS  
ON THE DISTRIBUTION OF CARBON NANOTUBES IN THE POLYMER MATRIX.....45

**Yuliia NAKONECHNA, Angelina CHUGAI**

HYDROMORPHOLOGICAL AND HYDROCHEMICAL FEATURES OF CHICHIKLIYA RIVER.....52

**Nataliia SLYVKA, Lesya SALIYEVA, Serhii HOLOTA, Vasyl ZHYLKO, Dmytro KHYLUK,  
Mykhailo VOVK**

DOCKING STUDIES OF THE MECHANISM OF ACTION OF A POTENTIAL  
NON-STEROIDAL ANTI-INFLAMMATORY AGENT 3-[(3,5-DICHLOROPYRIDIN-2-YL)OXY]-  
3,4-DIHYDRO-2H-BENZO[4,5]-IMIDAZO[2,1-B][1,3]-THIAZINE.....61

**Natalia SUKHA, Lyudmila HRYHORIEVA, Anna ALEKSIEIEVA**

INDICATIVE MEASUREMENTS OF FORMALDEHYDE CONTENT  
IN ATMOSPHERIC AIR OF MYKOLAEV.....69

**Victor MOSHYNSKYI, Liudmyla KLYMENKO**

THE GROUNDS OF MATHEMATICAL MODEL OF PROGNOSTICATION  
OF MEDIUM-SIZED CITY SUSTAINABLE DEVELOPMENT.....77

**Mykhailo DEMIANCHUK**

THEORETICAL ASPECTS OF THE PROBLEMS OF TRAINING NURSING SPECIALISTS  
FOR PROFESSIONAL ACTIVITY.....86

**Mykola LUKASHCHUK**

THE ROLE OF CULTURAL COMPETENCE IN FORMING THE PROFESSIONAL IDENTITY  
OF THE FUTURE HEALTHCARE WORKER IN THE PROCESS OF CHEMISTRY TRAINING..... 93

# ПРОБЛЕМИ ХІМІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Випуск 2

Коректура • Ірина Миколаївна Чудеснова

Комп'ютерна верстка • Юрій Васильович Ковальчук

Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 11,86. Замов. № 0822/346. Наклад 300 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1

Телефон +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: [mailbox@helvetica.ua](mailto:mailbox@helvetica.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 7623 від 22.06.2022 р.